TURING 图灵新知

烧坏了元器件又怕什么？电子学就应该这么学！

身边的电子学

36个有趣的电子小实验

Make: Electronics Learning by Discovery

[美] Charles Platt 著
尹华杰 王莲 译

新一代电子爱好者的入门书



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

O'REILLY®

Make:
makezine.com

数字版权声明

图灵社区的电子书没有采用专有客户端，您可以在任意设备上，用自己喜欢的浏览器和PDF阅读器进行阅读。

但您购买的电子书仅供您个人使用，未经授权，不得进行传播。

我们愿意相信读者具有这样的良知和觉悟，与我们共同保护知识产权。

如果购买者有侵权行为，我们可能对该用户实施包括但不限于关闭该帐号等维权措施，并可能追究法律责任。



图灵新知

身边的电子学

36个有趣的电子小实验

Make: Electronics Learning by Discovery

[美] Charles Platt 著
尹华杰 王莲 译

O'REILLY®
Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Tokyo
O'Reilly Media, Inc. 授权人民邮电出版社出版

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目（C I P）数据

身边的电子学 ：36个有趣的电子小实验 / (美) 普拉特 (Platt,C.) 著 ; 尹华杰, 王莲译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2011.4
（图灵新知）
书名原文: Make: Electronics Learning by Discovery
ISBN 978-7-115-24602-8

Ⅰ. ①身… Ⅱ. ①普… ②尹… ③王… Ⅲ. ①电子学－实验－普及读物 Ⅳ. ①TN01-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第253166号

内 容 提 要

本书本着“在实验中发现学问”的教学理念，以一系列由简到繁、令人着迷的电气电子学实验为主轴，从最简单的电阻器到有点复杂的直流电机和步进电机，从简单的二极管到需要编写软件程序的微型控制器，带领读者去探索各种电气电子元器件的性质以及电气电子学的基本原理。书中不仅详细地教你如何购买和使用各种元器件与实验工具，更教你如何一步步地制作出一个个有潜在实用价值的电路作品。通过这些实验，读者在获得成就感的同时，也将培养起相关的兴趣爱好。

本书可以作为初高中学生素质教育的课外实践读物，也可作为大学电气电子学课程的入门教材或配套的实验补充读物。对于那些在大学里主修电类相关专业而又感到没有培养起真正的动手能力或兴趣的大学生或毕业生，本书尤其有用。

图灵新知

身边的电子学：36个有趣的电子小实验

- ◆ 著　[美] Charles Platt
  译　尹华杰　王　莲
  责任编辑　卢秀丽
- ◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街14号
  邮编　100061　电子函件　315@ptpress.com.cn
  网址　http://www.ptpress.com.cn
  北京　印刷
- ◆ 开本：880×1230　1/32
  印张：14.125
  字数：427千字　2011年4月第1版
  印数：1－4 000册　2011年4月北京第1次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2010-4222号

ISBN 978-7-115-24602-8

定价：79.00元

读者服务热线：(010)51095186　印装质量热线：(010)67129223

反盗版热线：(010)67171154

版 权 声 明

O’Reilly Media, Inc. 介绍

为了满足读者对网络和软件技术知识的迫切需求，世界著名计算机图书出版机构 O’Reilly Media, Inc. 授权人民邮电出版社，翻译出版一批该公司久负盛名的英文经典技术专著。

O’Reilly Media, Inc. 是世界上在 Unix、X、Internet 和其他开放系统图书领域具有领导地位的出版公司，同时也是联机出版的先锋。

从最畅销的 *The Whole Internet User’s Guide & Catalog*（被纽约公共图书馆评为 20 世纪最重要的 50 本书之一）到 GNN（最早的 Internet 门户和商业网站），再到 WebSite（第一个桌面 PC 的 Web 服务器软件），O’Reilly Media, Inc. 一直处于 Internet 发展的最前沿。

许多书店的反馈表明，O’Reilly Media, Inc. 是最稳定的计算机图书出版商——每一本书都一版再版。与大多数计算机图书出版商相比，O’Reilly Media, Inc. 具有深厚的计算机专业背景，这使得 O’Reilly Media, Inc. 形成了一个非常不同于其他出版商的出版方针。O’Reilly Media, Inc. 所有的编辑人员以前都是程序员，或者是顶尖级的技术专家。O’Reilly Media, Inc. 还有许多固定的作者群体 —— 他们本身是相关领域的技术专家、咨询专家，而现在编写著作，O’Reilly Media, Inc. 依靠他们及时地推出图书。因为 O’Reilly Media, Inc. 紧密地与计算机业界联系着，所以 O’Reilly Media, Inc. 知道市场上真正需要什么图书。

译 者 序

经过大半年断断续续的工作，本书的翻译工作终于结束了。回过头来看，本书给我们的主要印象有以下几点。

第一，本书作者虽然是业余电子爱好者，然而其表现出来的实践水平和能力却远远超出了科班出身的电气电子工程专业本科生甚至研究生的水平。这样的评价并非言过其实，而是合情合理。我们就曾遇到过这样一些无线电车模、航模的爱好者，尽管他们不一定是电气电子相关专业的学生，有些人甚至还只是中学生，但已经将一些较先进的无刷直流电机驱动技术（例如无位置传感器技术）用到了车模、航模的驱动中，他们对所用电机的了解、对驱动电路的了解以及他们的动手能力，确实超过了一些专修电机的研究生的水平。他们都是无师自通者或自学成才者。

第二，本书的“在实验中发现学问”的教学理念，给人耳目一新的感觉。有一句话是这样说的：别人用理论来指导实践，而你则用实践来发现理论。在传统上，大中专学校各种课程的入门教材和教法，往往是先灌输概念和原理，再辅以（假想的）实验验证。这就是一种“用理论来指导实践”的教学方法，是老师教学生的方法，学生所学到的主要是理论。而本书作为电气电子学的入门教程，首先告诉你要买什么元件、工具，应该到哪里去买，价格大概是多少，每个元件、工具在使用时要注意什么；然后再给你一个电路图，以及作者自己搭建这个电路时各个阶段拍摄的照片，让读者依葫芦画瓢，一步步把电路搭起来；最后再加上电源，让读者在搭出的电路上进行实验，从实验中总结出元件的特性以及电气电子学的原理。这就是“用实践来发现理论”的教学方法，是能工巧匠教徒弟的方法，学生学到的主要是技能，再外加师父对材料、成品的深刻认识——少量浅显易懂的理论和丰富的经验。

第三，由于以上的第二个特点，使得本书适用的读者范围特别宽广。我们知道，理论的学习要求学生具有较强的理解能力，但技能的学

习则没有这个要求，力所能及就行。以京剧为例，传统上，京剧学徒大都是很小就拜师学艺，现在就有很多五六岁的小孩已经能够将一些京剧唱段唱得字正腔圆了。但是欣赏和理解京剧则是另外一回事，票友大多数是年纪大的人，因为年纪越大，理解得越深。因此，本书既适合于作为初高中学生（甚至于那些学有余力的小学生）素质教育的课外实践读物，也可作为大学电气电子学课程的入门教材或配套的实验补充读物。对于那些在大学里主修电类相关专业而又感到没有培养起真正的动手能力或兴趣的大学生，本书尤其有用。需要特别提醒的是，中小学生在搭建本书中涉及的电烙铁、电工工具、交流电源以及室外天线的实验电路时，应该得到家长或老师的同意，并在他们的监督下进行实验，以确保安全。

第四，有人说：书是死的，人是活的。我们却觉得本书实在是一个活生生的可以引导读者入门的电气电子学的“师父”。书中不仅给出了一步步的指令来指导读者搭建各个电路，还给出了 500 余幅全彩的照片和图像，来反映电路搭建过程中各个关键环节的情况。真正的师父每个关键环节都会教你一遍，但你一不小心就会错过，本书则相当于把师父教诲的每个环节都记录了下来，你不会错过任何东西，它百问不厌，不是师父，却胜过师父。

第五，本书的内容涉及了电路基础、低压电器、模拟电路、数字电路、微型控制器、电机与驱动以及 BASIC 语言等，但这并不是说读者要有这方面的基础，而是说通过本书的实践，读者在这些方面都将有个很好的入门。事实上，读者只要能够识字达意就可以去实践本书中的许多内容了。

最后来讲一讲我们所了解的查尔斯 • 普拉特（Charles Platt）先生——本书的作者。普拉特先生具有很高的知名度，他是作家、编辑、计算机和电气电子的爱好者兼企业家，是一个多才多艺的人，详见 http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Platt_(science-fiction_author)。他 15 岁时制作出一台电话应答机，高中毕业后没有进入大学，而开始以写作为生，迄今已写了近 50 本书，题材涉及史前小说、科幻小说、作家访谈录、电脑使用指南等。他采访几十位科幻作家而汇编的 *Dream Makers* 一书曾获得雨果奖提名并荣获 1981 年的轨迹奖（Lucos

Award）。他的小说《硅人》（*The Silicon Man*）曾被《纽约时报》评选为当年最好的三部科幻小说之一，并获得 1994 年度的普罗米修斯科幻奖（Prometheus Award）提名。他曾开发并发布过自己的电脑软件，讲授过计算机编程与软件方面的课程，并在美国著名科技杂志《连线》（*Wired*）上发表了至少 12 篇专题报道。他是人体冷冻技术的积极倡导者，曾创立 CryoCare 公司来提供人体冷冻服务（现已停止服务），并曾任专门从事生命延续与保存服务的 Suspended Animation 公司的经理。中国读者对普拉特先生也不陌生，早在 1998 年，他的著作 *Anarchy online*（中文译名《混乱的联线：因特网上的冲突与秩序》）就已经在国内出版发行了。

本书中文版由王莲翻译第 1 章、第 2 章和第 3 章，尹华杰翻译了第 4 章、第 5 章以及其他部分。由于译者才疏学浅，译词失当、疏漏之处在所难免，敬请读者不吝指正。

致中国读者

我从未接受过正规的电子学教育，几乎全是通过自己看书、制作电路来学到相关知识的。这要回溯到 20 世纪 60 年代，其过程是相当缓慢和困难的，因为当时我不得不从各种各样的渠道去获得各种零零碎碎的信息，然后把它们放到一起，从而获得全面的理解。有时我就想：为什么没有一本书可以提供所有这些信息呢？

今天，电子学的书籍星罗棋布，还有成千上万的网上信息资源，然而当我审视这一切的时候，仍然觉得很需要一本完全从入门开始，使用我所说的“在实验中发现学问”的方法来引领读者前进的书，即应该有一本书来指导读者自己将元器件装配在一起，并看到其结果。我撰写本书就是为了满足这一需要。

我最大的希望就是今天的年轻人能够在本书的指导下自学到电子学的基础。这个学习过程将是令人愉快的，因为电子学是相当有趣的，制作一些十分便宜、似乎拥有自己生命的小东西十分令人激动。没有任何理由能够阻止你去自己探索这个领域。

本书不会提供太多的理论背景。如果你想要深入理解电子学中的数学模型，仍然需要正规的学校教育。不过，将各种元器件组装在一起的时候，你会对各种元器件及其功能有一个直观的理解。

得知本书将要出中文版，我十分高兴，因为我特别钦佩中国人民所取得的成就。我生在英国、长在英国，那时没有人能够想象中国将扮演全球性的角色。即使在我移居美国以后的 20 世纪 70 年代，人们也不怎么严肃看待中国的工业能力。然而，自 20 世纪 80 年代开始，一切都发生了变化。如今的消费电子领域基本上是由中国公司的惊人产能支持着的，这些公司具有不可匹敌的制造元器件和设备的生产力。本书实验所用的大多数元器件就是中国制造的。有些时候，我还通过 eBay 上的店铺直接从中国邮购元器件到美国！

我相信中国的未来在于开发她自己独特的产品，以及在一些我们现

在还无法想象到的研究领域里做出突破。我已经看到了发生这种事情的迹象。如果本书能够鼓励新的一代变得富有创造能力和革新能力，那么全世界的每个人最终都将获益。

我由衷地感谢本书的译者，华南理工大学的尹华杰教授以及中水珠江设计公司的王莲工程师，感谢他们使得我的作品能够同中国读者见面。

查尔斯 • 普拉特

前　　言

如何从本书中找到乐趣

人人都在用电子设备，但大多数人其实并不知道电子设备内部的奥秘。

当然，你也许会觉得自己没有必要知道。因为你可以在不了解内燃机工作原理的情况下驾车，当然也就可以在对集成电路一无所知的情况下使用 iPod 媒体播放器。不过，基于以下的 3 个理由，我认为学习一点点电气和电子的基本知识还是值得的。

- 通过学习一项技术的工作原理，你可以更好地控制周围世界，而不是被它所控制。当遇到问题时，你将能够解决它们，而不是对它们感到一筹莫展。
- 学习电气电子学是一种乐趣，前提是你要按照正确的方法去学习。所用的工具是比较便宜的，你可以在桌面上完成所有的工作，而且这不会花费你太多的时间（除非你有意要花很多时间）。
- 电气电子的知识将提升你作为一个雇员的价值，甚至可以引领你进入一个全新的职业生涯。

在实验中发现学问

大多数入门性的读物都开始于定义和事实的陈述，然后逐渐进入正轨，让你可以按照指示搭建出一个简单的电路。

本书则另辟蹊径。我希望你马上就开始将元件放在一起来搭建电路。当看到所发生的结果时，你将揣摩出其中的道理。我相信这个在实验中发现学问的过程将会产生更为强大、持久的体验。

在实验中发现学问的方法来源于严肃的研究工作，科学家观察到了某种异常现象，无法用现有的理论来解释，于是着手对其进行研究，以

尽力对其予以解释。这最终将使我们更好地理解这个世界。



不要超越危险线！

尽管我相信本书所有建议都是安全的，但有个前提，就是你得以我建议的限定范围为准。请始终遵从指示，注意警告（用闪电符号标示）。如果超越了危险线，你将置于不必要的危险之下。

在这里我们也将这么做，只不过有一点很明显，就是我们的层次没有那么高深。

在这个过程中，你会犯一些错误。这没有什么不好。犯错是所有学习过程中最好的一种方式。我希望你烧坏、搞糟东西，因为这是学习元件和材料的使用极限的方法。采用这一方法的成本也很低，图 P-1 给出了说明。由于我们使用的是低压，因此不会发生电死人的事情，只要你按照我指示的方法去限制电流，就不会有烧伤手指或引发火灾的危险。



图 P-1 在实验中发现学问的方法可以使你立即开始搭建简单的电路，所需要的只是几个廉价的元件、几节电池和一些弹簧夹

这些实验到底有多难

我假定读者刚开始阅读本书时不具备电子学方面的基础知识。因此，最初的几个实验会是超级简单的，你甚至无需使用电烙铁和样机电路板来搭建电路。你只需用弹簧夹把导线夹在一起就行了。

很快你将体验到晶体管，到第 2 章结束的时候，你将得到一个具有实际用处、能够工作的电路。

我就不相信业余电子学一定很难理解。当然，如果你要更加正规地学习电子学，设计自己的电路，那将是一个挑战。但在本书中，不仅工

具和元件不怎么昂贵，而且目标明确，你需要的数学技能也仅仅是加、减、乘、除运算，以及将十进制小数点移来移去的能力。

如何使用本书

像本书这样的题材，一般有两种写法：一种是教程式的，另一种是知识性的。我将同时采用这两种写法。在以下标题的内容中，讲的是教程。

- ❐ 采购清单
- ❐ 使用工具
- ❐ 实验

而在以下标题的内容中，讲的是相关知识。

- ❐ 基础知识
- ❐ 理论知识
- ❐ 背景知识

如何使用这些章节完全取决于你自己。你可以先跳过许多知识性内容，等到以后再读。然而，如果你跳过许多教程，那么本书对你则不会有多少用处了。在实验中发现学问意味着你绝对、必定要动手操作，而这就意味着你必须买一些基本的元件，并亲手操作它们。仅仅想象着自己在做着这些活计是不会有什么收获的。

购买你所需要的东西很容易，而且也不贵。无论你是住在城区还是住在郊区，只要是在美国，你住所的附近都可能有店铺出售电子元件和你需要的一些基本工具。当然，我指的是 RadioShack 特许连锁店。虽然有些 RadioShack 店的元件要更丰富一些，不过无论哪家几乎都可以满足你的基本需要。

你也可以到自动售货店（譬如 AutoZone 和 Pep Boys）去购买插接线、保险丝、开关之类的基本材料，而到 Ace Hardware、Home Depot 以及 Lowe’s 之类的店铺去购买工具。

如果你喜欢邮购，通过网上搜索你可以很容易地找到所有的东西。我收集了最常用的供货源的链接地址，完整的地址列表在附录中给出。

基础资料

邮购元件与工具

以下是我自己在网上邮购时用到的主要邮购资源。

http://www.radioshack.com

RadioShack 公司（也称 The Shack）的网址。它提供元件和工具。虽然这些产品并不总是最便宜的，但用这个网址却最容易、最方便，其中的有些工具正好是我们所需要的。

http://www.mouser.com

Mouser Electronics 公司的网址。

http://www.digikey.com

Digi-Key Corporation 公司的网址。

http://www.newark.com

Newark 公司的网址。

Mouser 公司、Digi-Key 公司以及 Newark 公司都是购买元件的好地方，它们通常没有最少数量的限制。

http://www.allelectronics.com

All Electronics Corporation 公司的网址。它提供的元件种类较少，但专门针对业余爱好者，并提供套件。

http://www.ebay.com

在这里你可以发现人们转让多余的元件，并且可以讲价，不过有时你得多找几家 eBay 店铺才能找到自己想要的东西。中国香港 eBay 店的货品通常十分便宜，我发现这些店挺可靠的。

http://www.mcmaster.com

McMaster-Carr 公司的网址。对于想购买高品质工具的用户特别有用。

此外，Lowe’s 公司以及 Home Depot 公司也提供网上在线订购。

配套实验套件



Maker Shed 网站（www.makershed.com）有许多本书用到的套件，包括全套的工具和本书实验中用到的各种成组元件。

这是购买本书中各个实验所需各种工具和材料的一个简单、便捷而经济的方法。如图 P-2 所示，那是我们打开的一些网页示例。



图 P-2　你会发现，在网上没有找不到的元件、工具、套件以及零件

联系我们

有关本书的任何建议和疑问，可以与下面的出版社联系。

美国：

O’Reilly Media, Inc.

1005 Gravenstein Highway North

Sebastopol, CA 95472

中国：

北京市西城区西直门南大街 2 号成铭大厦 C 座 807 室（100035）
奥莱利技术咨询（北京）有限公司

我们为本书提供了一个网页，其中给出了勘误表、示例和所有的附加信息。可以通过以下地址访问该网页：

http://www.oreilly.com/catalog/9780596158064

要对本书发表评论或询问技术问题，请发电子邮件到：

bookquestions@oreilly.com

有关我们的书籍、会议、资源中心以及O’Reilly网络，可以访问我们的网站：

http://www.oreilly.com
http://www.oreilly.com.cn

Safari® 在线书库



Safari Online 是一个按需服务的数字图书馆，你可以在它的 7 500 多本技术和设计类图书及视频中轻松地进行搜索，快速找到你想要的图书或视频。

订购以后，你可以在线阅读我们图书馆中的任何一页，观看任何视频资料。你可以在手机和移动设备上读书，可以在新书出版之前阅读它们。可以看供一个人浏览的手稿，并提出反馈给作者的建议。可以复制、粘贴代码实例，把你最喜欢的内容放在一起，下载章节，标记重要的小节，建立注记，打印书页，并从大量其他节省时间的特征中获益。

O’ Reilly Media 公司已经将本书（英文版）上传到 Safari 在线书库服务。为了获得对本书以及本公司和其他出版商的其他类似书籍的完全数字访问权限，请在 http://my.safaribooksonline.com 网站进行免费注册。

致　谢

我与 MAKE 杂志的联系始于它的编辑 Mark Frauenfelder 邀请我为它写稿的时候。我一直很感谢 Mark 对我工作的支持。通过 Mark，我认识了 MAKE 公司特别能干而积极的编辑人员们。Gareth Branwyn 最终建议我写一本关于电子学的入门指南，因此我要特别感谢 Gareth 启动这个项目并作为我的主管编辑。在我写出提纲，并提出将我的“在实验中发现学问”的思想以及诸如切开元件、烧毁元件等相关概念变成一种教育实践活动的时候，MAKE 的发行人 Dale Dougherty 先生说出了令我记忆深刻的话：“我需要这本书！”因此我由衷地感谢 Dale 先生，感谢他对我的能力的信任。发行人助理 Dan Woods 先生对我的工作也特别支持。

出版的过程十分顺利、高效而愉快。为此，我要感谢 O’Reilly 公司的责任编辑 Brian Jepson，高级出版编辑 Rachel Monaghan，技术编辑 Nancy Kotary，校对人 Nancy Reinhardt，索引制作人 Julie Hawks，封面设计人 Ron Bilodeau，以及 Robert Romano，是他对我的图片进行了处理。我最该感谢的人是 Bunnie Huang，我的技术顾问，他详细审阅了本书，并且知道许多我不知道的材料。任何遗留的错漏都是我的过失，尽管我很想将它们推托到 Bunnie 的身上。

我还要感谢 Matt Mets、Becky Stern、Collin Cunningham、Marc de Vinck、Phillip Torrone、Limor Fried、John Edgar Park、John Baichtal、以及 Jonathan Wolfe，感谢他们在实验项目的最后测试方面给予的帮助。

最后我必须提一下 John Warnock 和 Charles Geschke 这两个天才，他们是 Adobe Systems 公司的创立者和十分美丽的 PostScript 语言的发明者，正是他们带了出版业的革命。要是采用某些其他公司的出版工具来出版本书的话，其恐惧感令我感到无法想象。实际上，要是没有 Illustrator、Photoshop、Acrobat 以及 InDesign 这些软件，我都怀疑我是否会去写这本书。我还要感谢带 100mm 微距镜头的 Canon 1Ds 照相机，

我用它拍摄了本书的大部分照片。

在本书的写作中，除了从 MAKE 得到两本汇集电路实例的书籍以外（目的是为了避免与那些已发表的电路重复），没有从书中提及的任何经销商处获得任何免费的样品或其他优惠。

目　　录

第 1 章　体 验 电

本章内容

- 购物清单（实验 1 到实验 5）
- 实验 1　尝尝电的味道
- 实验 2　让我们来滥用电池！
- 实验 3　你的第一个电路
- 实验 4　改变电压
- 实验 5　让我们制作一个电池

在第一个实验中，我想让你实实在在地尝尝电的味道！第 1 章将向你展示如下内容。

- 如何理解和测量电、电阻。
- 如何拿捏、连接元件而不会让它们过载受损伤或被毁坏。

即使你已经掌握了一定的电气电子学的基础知识，在你理解本书的其余部分之前，也应该试一下本章的实验。

购物清单（实验 1 到实验 5）

如果你想减少购物跑腿的次数或网上购物的次数，读读本书后面的内容，看看其他章的购物清单，将它们合成一个购物大单。

在本章里，我将给你提供需要用到的元件的产品型号，以及每个工具和器件的来源。在以后的各章里，我不会再提供如此具体的信息，因为你应该有了一些经验来自己搜索这些信息。

Maker Shed（www.makershed.com）为本书汇集了一系列实验套件，包括了本书实验中用到的所有工具和元件。这是得到各个实验项目所需一切东西的一个最快速、简单而经济的方法。

工具

小钳子

RadioShack 公司的 Kronus 小钳子，4.5 in，产品型号为 64-2953，

或 Xcelite 公司的微型长鼻钳，4 in，产品型号为 L4G。

或其他类似的工具，参见图 1-1 到图 1-3。请到五金店以及前言中所列出的网站中去找。牌子不重要。在使用一段时间之后，你将养成自己的使用偏好。特别是，你必须确定自己是否喜欢装弹簧的手柄。如果用了之后觉得不喜欢，那就必须先找另外一把钳子来把弹簧拔出来。



图 1-1 普通的长鼻小钳是最基本的工具，用于夹持、夹弯东西，以及拾取掉落的东西



图 1-2 长鼻小钳：在狭小空间中使用



图 1-3 尖嘴钳：用于宝石制作，但在夹取微小的元件时也很有用

钢丝钳

RadioShack 公司的 Kronus 钢丝钳，4.5 in，产品型号为 64-2951，或 Stanley 公司的 7 in 钢丝钳，产品型号为 84-108。

或其他类似的钢丝钳。请只用它们来剪铜线，不要剪更加坚硬的金属（图 1-4）。

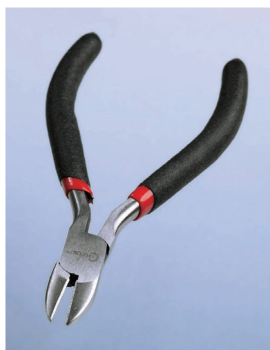


图 1-4 钢丝钳，有时也称侧铣刀，是最基本的工具

万用表

Extech 公司的 EX410 型、BK Precision 公司的 2704-B 型，或 Amprobe 公司的 5XP-A 型都可以。

或其他类似的产品。电是不可见的，而我们需要“看见”其中的电压和电流，所以使用万用表是唯一的途径。一个廉价的万用表对于我们最初的实验已经足够了。如果在网上购买，请多看用户的评论，因为廉价万用表的可靠性可能会成问题。你可以多逛几家店，找到价格最优惠的。不要忘记在 eBay 上搜一搜。

必须买数字万用表。老式万用表有一根指针，在刻度盘上移动，这

是模拟表，千万不要买。本书假定大家读取的都是数字表的读数。

我建议你不要买自动量程的万用表。“自动量程”听起来很好，例如检测一个 9 V 的电池时，它会自作主张地认为你不是在测量一个几百伏的东西，也不是在测一个小于 1 V 的东西。但问题是这有可能诱使你犯错。例如，若电池已经近乎用完了会怎么样呢？这时你可能是在测量一个小于 1 V 的电压，但万用表只会在大个的读数旁边显示一个很容易被人忽略的 m（代表“毫伏”），从而使你误读电压。

对于手动量程的万用表，量程是由你自己选择的，如果被测量值超出了量程，万用表就会给你出错提示。我喜欢这个特性。此外，自动量程的万用表在进行测量时，每次都要花较长的时间才能确定出恰当的量程，这一点也是我无法忍受的。不过这只是个人的偏好问题。图 1-5 到图 1-7 展示了几种不同的万用表。



图 1-5　这是我喜欢用的万用表，已经用旧了，都有划痕了。它具备所有必需的基本功能，而且还能测量电容（在 F 档，单位法拉）。它也能检测晶体管。不过你必须手动选择量程



图 1-6　中等价位的 Raido Shack 万用表，拥有所需的基本功能，是一款自动量程的万用表。不过，它的每个拨盘位置对应着两个功能，需要用 SELCET 按钮来选择，这容易造成混乱



图 1-7　这是 Extech 公司提供的一款自动量程的万用表，另带一个温度探头，对于检测元件（譬如供电模块）是否过热十分有用

备用品

电池

9 V 电池，数量：1 节。

AA 电池，每节 1.5 V，数量：6 节。

电池应该选用可置换的碱性电池，最廉价易得的那种，因为我们将要损坏其中的一些。在实验 1 和实验 2 中，**绝对不可以**使用可充电电池。

电池盒与接头

9 V 电池用的揿钮接头，要带导线的（图 1-8），数量：1 个。选用 RadioShack 公司的 270-325 或其他类似产品。任何带有导线的揿钮接头都可以。



图 1-8　用于 9 V 电池的揿钮接头

装单节 AA 电池的电池盒，要带导线的（图 1-9），数量：1 个。选用 RadioShack 公司的 270-401 或 Mouser Electronics 公司产品目录中的 12BH311A-GR，或其他类似产品。任何带细导线的单节电池盒都行。



图 1-9　带导线的电池盒，用于单节 AA 电池

用于 4 节 AA 电池的电池盒，要求带导线（图 1-10），数量：1 个。可选用 All Electronics 公司产品目录中的 BH-342 或 RadioShack 公司的 270-391，或其他类似的产品。



图 1-10　4 节 AA 电池串联时使用的电池盒，用于提供 6 V 电压

用于 2 节 AA 电池的电池盒，要求带导线。数量：1 个。

弹簧夹

要求乙烯树脂绝缘的，数量：至少 6 支。可选用 All Electronics 公司产品目录中的 ALG-28 或 RadioShack 公司的 270-1545，或其他类似的产品（见图 1-11）。



图 1-11　带乙烯树脂套的弹簧夹，可以降低发生短路事故的可能性

元件

你也许不知道这里的某些元件到底是什么，或是用来做什么的。那就看准这里提供的元件的型号、描述，注意所买的东西与这里所提供的照片是否一致。很快，在实验中发现学问的过程中，所有神秘面纱都将会一一揭开。

保险丝

汽车风格、微型插片、3A 的，数量：3 个。可选用 RadioShack 公司的 270-1089，或 Bussmann 公司的 ATM-3，可以从汽车零件供应商（例如 AutoZone）处购买得到（图 1-12）。

或其他类似的。与圆芯的保险丝相比，插片型的保险丝易于用弹簧夹抓取。

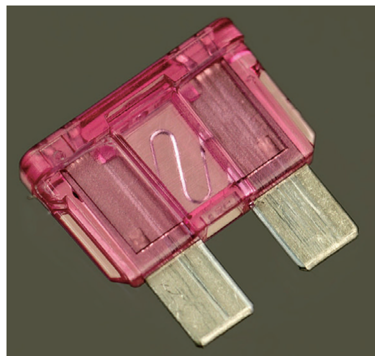


图 1-12　3A 的保险丝，主要用于汽车，这里显示的比实际尺寸大

电位器

要求面板安装、单圈、线性 2 kΩ，功耗至少 0.1 W，数量：2 个。可选用 Alpha 公司的 RV170F-10-15R1-B23 或 BI Technologies 公司的 P160KNPD-2QC25B2K，可从 Mouser Electronics 公司或其他元件供货商处得到（图 1-13）。

或其他类似产品。标定的瓦数告诉我们该元件能够承受多大的功率。这里所需的瓦数没必要超过 0.5 W。



图 1-13　电位器有各种形状和尺寸，配合不同的轴长，以满足不同类型的旋钮要求。对于我们的任务，无论哪种都可以，不过个头较大的比较容易操作

电阻器

各种阻值的电阻（最小 0.25 W），其中至少包括 470 Ω、1 kΩ 以及 2 kΩ 或 2.2 kΩ 的，数量：至少 100 个。可选用 RadioShack 公司的 271-312 或在 eBay 上搜索“各种电阻”。

发光二极管（LED）

任何尺寸和颜色都可以（图 1-14 和图 1-15），数量：10 个。选用

RadioShack 公司的 276-1622 或 All Spectrum Electronics 公司的 K/LED1 都可以（从 Mouser.com 上购买）。

或其他类似的。实际上任何 LED 都可以完成前几个实验。

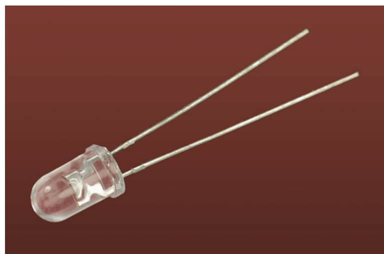


图 1-14　典型的 5 mm 直径的发光二极管（LED）

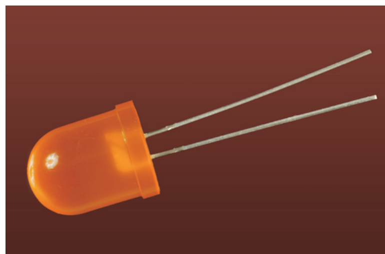


图 1-15　大尺寸的 LED（直径为 1cm）不一定就更亮或更贵。对于本书的大多数实验，你喜欢哪种 LED 就可以买哪种

实验 1　尝尝电的味道

真的能够品尝到电的味道吗？或许不行，但这个实验给人的感觉就好像是可以的。

以下是需要用到的东西。

- ❒ 9 V 电池。
- ❒ 电池端部的揿钮接头。
- ❒ 万用表。

步骤

润湿你的舌头，用舌尖接触一个 9 V 电池的金属端子。你所感觉到的突发而强烈麻刺感是由电流引起的，这个电流由电池的一个端子流出，经过你舌头上（以及舌头里面）的水分，回到另外一个端子（见图 1-16）。由于舌头的表层很薄（它实际上是一层黏液薄膜），神经靠近表面，所以很容易就可以感觉到电。



图 1-16　在实验中发现学问之过程的第一步是用舌头来检查 9 V 的电压

下面再伸出你的舌头，用薄纱布彻底擦干舌尖，在舌头没有变潮湿之前，重复前面的实验。这次你会感觉不怎么刺痛了。

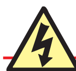
这里到底发生什么了呢？让我们用一个万用表来寻找答案。

工具

设置万用表

首先，查看万用表的说明书，看是否需要放入电池，还是电池已经预装在里面了。

大多数万用表都有可移动的导线，称作**引线**。在大多数万用表的前部，都有 3 个插孔，其中最左边的一个通常被保留作大电流（就是电的流动）测量之用。我们目前可以忽略这个插孔。



不要超过9 V

9 V的电池不会伤害到你。但请不要用更高电压的电池以及可以输出较大电流的较大电池来做这个实验。此外，如果你的牙齿上带有金属牙套，请格外小心，千万不要让电池碰到牙套。

引线可能是黑色和红色的。将黑色的引线插入标记为“COM”或“Common”的插孔，将红色的引线插入标记为“V”或“volts”的插孔。详见图 1-17 到图 1-20。

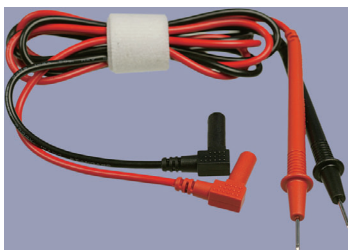


图 1-17　黑色的引线插入共地孔（COM 孔），红色引线插入红色插孔（红色插孔几乎总是位于万用表的右侧）



图　1-18



图　1-19



图 1-20　在测量电阻和电压时，请将黑色引线插入共地插孔，红色引线插入“Volts”插孔。几乎所有的万用表都有另外一个独立的红色插孔，用来测量单位为安培（A）的大电流，这将在后面详细介绍

引线的另一端是金属长针，称作**探针**。在进行电气测量时，用探针去接触元件。探针检测电，但不会导致电显著地往外散发。因此探针不会伤害到你，除非你用探针的尖端戳自己。

如果你的万用表没有自动量程功能，那么拨盘上的每个位置旁都有一个数字。这个数字表示“不高于”的意思。譬如，假定你想检测一个 6 V 的电池，在拨盘的电压区有一个位置标记为 2，下一个位置标记为 20，由于位置 2 意味着“不高于 2 V”，因此你必须拨到下一个位置，即拨到“不高于 20 V”的位置。

如果你在什么地方没有弄对，进行了不恰当的测量，那么万用表将给出“E”或“L”这样的错误提示。这时请转动拨盘并重试。

基础知识

欧姆 (Ω)

人们用英里或公里来量距离，用磅或公斤来量重量，用华氏度或摄氏度来量温度，用欧姆来量电阻。欧姆是国际单位制中的一个单位。

希腊字母 Ω（欧米加）用来表示欧姆，如图 1-21 及图 1-22 所示。字母 k（或 kΩ）表示千欧，即 1 000 Ω。字母 M（或 MΩ）表示兆欧，即 1 000 000 Ω。

对电具有特别高的电阻的材料称作**绝缘体**，大多数的塑料，包括导线的彩色包皮都是绝缘体。

电阻特别低的材料称作**导体**，像铜、铝、银、金等金属都是很好的导体。

欧 姆 数	通常表示法	简 写
1 000 欧姆	1 千欧姆	1 kΩ
10 000 欧姆	10 千欧姆	10 kΩ
100 000 欧姆	100 千欧姆	100 kΩ
1 000 000 欧姆	1 兆欧姆	1 MΩ
10 000 000 欧姆	10 兆欧姆	10 MΩ

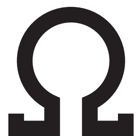


图 1-21 Ω 是国际通用符号，用来表示以欧姆为单位的电阻

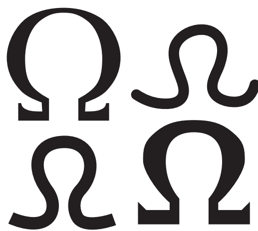


图 1-22 可以找到 Ω 的多种印刷体和书写体

步骤

下面我们用万用表来发现你舌头上的电阻。首先，将万用表设置到电阻档。如果是自动量程表，那么请注意观察它显示的是 kΩ（意味着千欧）还是 MΩ（意味着兆欧）。如果需要你手动设置量程，则请从不低于 100 000 Ω（100 kΩ）开始。具体见图 1-23 到图 1-25。



图 1-23



图 1-24

将探针接触到你的舌头，两个探针保持大约 1 in 的距离。注意读数，它应该为 50 kΩ 左右。现在放下探针，伸出你的舌头，并用一块纱布十分小心地、彻底地擦干舌头。在舌头变得潮湿之前，重复以上测试，此时的读数应该要比前面的高。最后，将探头按压在你的手（或者手臂）的皮肤上，此时你可能根本就得不到读数，除非你把皮肤弄湿。

9 V 的电池中含有化学物质，会释放电子（带电的粒子），由于电

池中化学反应的原因，电子会从电池的一端流向另外一端。将电池内的组成单元想象成两个水箱，一个是满的，另一个是空的。如果二者由一个管子相连，则水将在二者间流动，直到它们的水位相等为止。图 1-26 也许可以帮助你想象这一点。同样地，当你在电池的两端之间开通一条电的通道时，电子就会在两端之间流动，即使这个通道仅仅由舌头上的水分构成时也是如此。

> 当你的皮肤潮湿的时候（例如你出了汗），它的电阻就会降低。这个原理用于测谎仪，因为当一个人有意识地撒谎的时候，在紧张的条件下，就容易出汗。



图 1-25　为了测量电阻，请将拨盘拨到欧姆符号（Ω）位置。在自动量程的万用表上，你可以通过重复按压量程按钮来显示不同的电阻量程，或者简单地直接将探针接触电阻并等待万用表自动选择量程。手动量程的万用表需要你自己用拨盘来选择量程（为了测量皮肤的电阻，应该设置在 100 kΩ 或更高的位置）。如果没有得到有意义的读数，请试着换一个量程

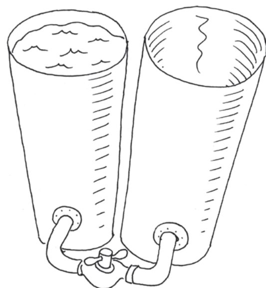


图 1-26　将电池中的组成单元想象成两个圆柱体：一个充满了水，另一个则是空的。在两个圆柱体间开辟一条连接通道，那么水就会流动，直到两方的水位相等为止。连接的阻力越小，流动就越快

背景知识

发现电阻的人

图 1-27 的照片是欧姆（Georg Simon Ohm），他于 1787 年出生于德国的巴伐利亚。他一生的大部分时间都在默默无闻地工作着，使用自己制作的金属线来研究电的特性（在 19 世纪初，人们不可

能驾着卡车去现代才有的家得宝[①]店购买一圈后来才出现的连接线）。

尽管资源有限，他的数学技能也不好，但欧姆在 1827 年证明了，只要温度保持不变，导体（例如铜）的电阻变化与其横截面积成反比，流过的电流与施加在其两端的电压成正比。14 年以后，伦敦皇家协会最终承认了他的这一贡献的重大意义，并将科普利奖（Copley Medal）颁发给他。今天，人们将他的发现称作欧姆定律。



图 1-27　欧姆——摄于他的开创性工作受到表彰以后。欧姆的这些工作大都是在默默无闻中进行的

深入研究

将揿钮接头的端帽（见图 1-8 所示）安装到 9 V 电池上。拿起连接在端帽上的两根导线，使裸露的两个导线端部靠近，距离只相隔几毫米。用它们去接触你的舌头。然后将两导线的端部分开到几英寸，再接触你的舌头。参考图 1-28。请问是否注意到两者的差别？

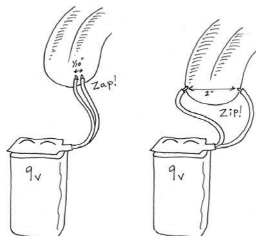


图 1-28　更改舌头测试的距离可以证明，较短的距离具有较小的电阻，它允许较大的电流通过，因而会产生较大的刺痛

用万用表来测量你舌头的电阻，测量时要改变两个探头间的距离。当电在较短的距离内通过时，它遇到的总电阻较小。因此，电流（每秒钟流过的电）增加。也可以在手臂上做类似的实验，如图 1-29 所示。

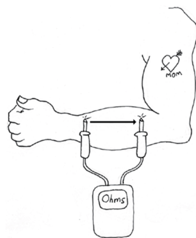


图 1-29　在测定皮肤的电阻之前，先将其弄湿。你会发现，当把万用表的探针分隔远一点的时候，电阻就会上升。电阻与距离成正比

用万用表测量水的电阻。在水中溶入一些盐，再测一次。然后再试着测测蒸馏水的电阻（在干净的玻璃杯中进行）。

我们的周围世界充满了各种材料，它们导电的电阻各不相同。

① 即美国家得宝公司，成立于 1978 年，是全球领先的家居建材用品零售商，美国第二大零售商，曾连续 9 年被美国《财富》杂志评为“最受欢迎的专业零售商”。——编者注

清理与回收

这个实验不会毁坏你的电池，也不会对其产生显著的放电。它们还可以继续使用。

在搁置万用表之前，请记得关闭电源。

实验 2　让我们来滥用电池！

为了更好地认识电源，下面你将要做一件大多数教材都不会让你去



短路

短路是危险的。千万不要将家中的电源插口短路：那将导致“砰”的一声巨响，发出明亮的闪光，你所用的导线或工具将发生部分熔化，从熔融金属中飞出的颗粒会烧伤你或使你致盲。



图 1-30　曾经将扳手失落在汽车电池接线柱上的人都可以告诉你，即使是 12 V 的电池，只要电池容量足够大，短路都会是一件惊天动地的事情

如果你将汽车电池短路，那么流过的电流将特别大，有可能会导致电池爆炸，电池中的硫酸会洒你一身（图1-30）。

锂电池也很危险。千万不要短路锂电池：那将引起火灾，使你烧伤（图1-31）。

这个实验只能使用碱性电池，并且只能使用单节AA电池（图1-32）。你还要戴上安全眼镜，以防所用的电池存在缺陷。



图 1-31　锂电池（常用于笔记本电脑）的内阻低，允许大电流通过，后果难料。因此绝对不要傻到去短路锂电池



图 1-32　如果你认真地遵从我的指令，短路一节碱性电池应该是安全的。不过即便如此，由于电池会变得很烫，因此摸起来不会好受的。不要用任何的可充电电池来做这个实验

做的事情：将一个电池短路。短路就是将电源的两端直接连接。

以下是你需要准备的东西。

- ❒ 1.5 V 的 AA 电池。
- ❒ 载单电池的电池盒。
- ❒ 3 A 的保险丝。
- ❒ 一个弹簧夹（鳄鱼夹）。
- ❒ 安全眼镜（普通眼镜或太阳镜都可以）。

步骤

使用碱性电池。不要使用任何的可充电电池。

将电池放入容纳单个电池的电池盒，让它的两根绝缘细线缠在一起，如图 1-32 所示。不要使用任何其他种类的电池盒。

用一个弹簧夹连接导线的裸露端，如图 1-32 所示。这不会产生火花，因为电压只有 1.5 V。等待一分钟，你会发现导线变热了。再等待一分钟，电池也会变热。

热量是由于电通过导线以及电池内部的电解质（导电导体）引起的。如果你曾经用手动泵给自行车胎打过气，你就知道泵会变热。电的行为是类似的。你可以想象电是由粒子（电子）构成的，当它们被驱动着通过电线时，电线就会变热。这虽然不是一个完美的比方，但在此处却很贴切地说明了我们的问题。

电池内部的化学反应产生电压力。这个压力的确切名称是**电压**，单位为伏特（V），它来源于电学先驱亚历山德罗 • 伏特（Alessandro Volta）的名字。

回到水的比方：水箱中水的高度正比于水压，相当于电压。图 1-33 可以帮助我们想象这一点。

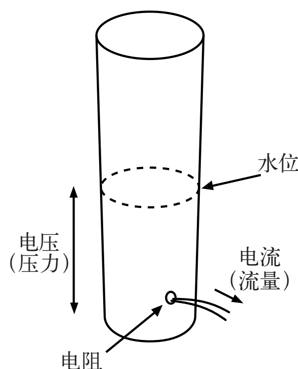


图 1-33　将电压想象成压力，将电流（安培数）想象成流量

但是，伏特还仅仅涉及故事的一半。当电子流经导线时，相应的流量就称作**安培**，它来源于另一个电学先驱安德烈 • 玛丽 • 安培（André-Marie Ampère）的名字。这个流量也称作电流。正是电流（或说安培数）产生了热。

背景知识

为什么你的舌头不会发烫?

当你的舌头接触 9 V 的电池时，你感觉到的是刺痛，而没有可察觉的发热。当你短路一个电池时，即使所用的电池电压较低，也会产生可观数量的热量，如何解释这个差别呢?

你的舌头的电阻特别大，这就降低了电子流。导线的电阻很低，因此当仅仅只有一条导线直接连接电池的两个端子时，通过的电流将会更多，从而产生出更多的热量。如果所有其他因素保持不变，则：

- ❒ 较低的电阻允许通过较大的电流（图 1-34）；
- ❒ 电产生的热正比于流过的电流的数量（电压保持不变时）。

下面是另外一些基本的概念。

- ❒ 每秒钟流过的电用安培（A）来度量。
- ❒ 引起电流的电的压力（电压）用伏特（V）来度量。
- ❒ 对电流的阻力（电阻）用欧姆（Ω）来度量。
- ❒ 较大的电阻会限制电流。
- ❒ 较高的电压可以克服电阻、增大电流。

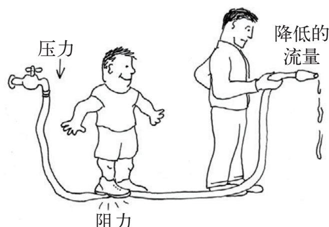


图 1-34 较大的阻力导致较小的流量——但是如果你增大压力，就有可能克服阻力而导致流量增大

如果你问我，在电池短路的时候，到底有多大的电流流过电池的两个端子，我不得不告诉你，这是一个很难回答的问题。如果你试图用万用表去测量这个电流，很可能会烧掉万用表内的保险丝。不过仍有办法，你可以使用自己的 3 A 保险丝，由于它不值什么钱，我们牺牲得起它。

首先，要仔细检查保险丝，可能的话，请采用放大镜来检查。你应该可以在保险丝的透明窗口中央看到一个微小的 S 形的东西。这个 S 形的东西是一片很容易熔化的薄金属片。

拿开已经短路过的电池。它没有什么用处了，如果可能的话应该丢进回收箱。在电池盒中放入一节新电池，按照图 1-35 连接保险丝，然后再检查一下保险丝，你可以看到在 S 形东西的中央有一个断裂，

这就是金属瞬间熔化的地方。图 1-36 所示为连接前的保险丝，图 1-37 显示的是烧掉的保险丝。保险丝的工作原理是这样的：它熔化自身来保护电路的其余部分。保险丝中的微小断裂阻止了更大的电流通过。

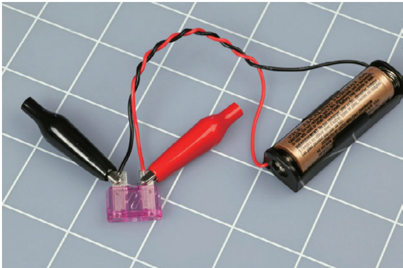


图 1-35　当你将两根导线接到保险丝时，里面的 S 形元件几乎在一瞬间就熔化掉了



图 1-36　3 A 的保险丝（被单节 1.5 V 电池熔化前的照片）

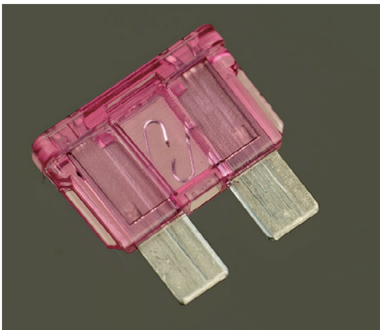


图 1-37　同一根保险丝熔化后的照片

基础知识

伏特

电压用伏特来度量。伏特（V）是国际单位制中的一个单位。1 mV 等于 1/1 000 V。

伏　特　数	通常表示法	简　　写
0.001 伏	1 毫伏	1 mV
0.01 伏	10 毫伏	10 mV
0.1 伏	100 毫伏	100 mV
1 伏	1 000 毫伏	1 V

安培

我们用安培来度量电流。安培是国际单位制中的一个单位，常常说成“安”（A）。1 mA 是 1/1 000 A。

安 培 数	通常表示法	简 写
0.001 安	1 毫安	1 mA
0.01 安	10 毫安	10 mA
0.1 安	100 毫安	100 mA
1 安	1 000 毫安	1 A

背景知识

电池的发明者

亚历山德罗·伏特（图 1-38）出生于 1745 年，当时科学还远未分化成各个学科。在研究了化学之后（他于 1776 年发现了甲烷），他成了一名物理学教授，并开始对所谓的伽伐尼响应（即青蛙的大腿在静电的刺激下，会做出抽动反应的一种现象）感兴趣起来。



图 1-38 伏特发现，化学反应可以产生电流

利用一个装满盐水的酒杯，伏特证明：发生在两种电极（其中一种电极为铜，另一种为锌）之间的化学反应，将产生稳定的电流。他于 1800 年对自己的装置进行了改进，将铜板和锌板堆叠起来，二者之间用吸满盐水的纸板来分隔。这种“伏特堆”就是第一块电池。

基础知识

直流电和交流电

从电池得到的电流是**直流电**（Direct Current，DC）。就像从水龙头里流出来的水，它的流量恒定，只有一个方向。

从家中电源插座的“火”线得到的电流则完全不同。它每秒从正到负变化 60 次（在英国以及其他一些国家里，是每秒 50 次）。这就是所谓的**交流电**（Alternating Current，AC），它更像在电动洗涤机中产生的脉冲水流。

为了实现某些目的，必须采用交流电，譬如为了长距离输电而升高电压。交流电也用于电动机和家用电器。图 1-39 所示为美洲电源插座。还有另外几个国家（例如日本）也使用美式插座。

在本书的大部分地方，谈论的都是直流电，其原因有两点。首先，大多数简单的电子电路是由直流供电的；其次，直流的行为更容易理解。

本书的后面我不会再重复说明我是在处理直流，请假定所有均为直流的（除非另有说明）。

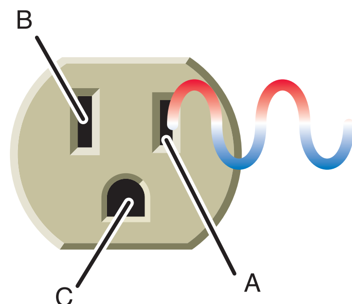


图 1-39　这种风格的电源插座见于北美、南美、日本以及其他几个国家。欧洲插座的形状不同，但原理是一样的。插孔 A 是插座“活”的一侧（火线），它提供一个（相对于插孔 B）正负交变的电压。插孔 B 称作“中性”侧（中线）。如果电器设备发生故障，譬如出现内部线路松动，那么通过插孔 C（即地线）将电压引入大地，可以保护人身安全

清理与回收

被你短路的第一节 AA 电池已经毁坏而不可能修好了，你应该处置好它。将电池投入垃圾箱并不好，因为电池中包含重金属，会污染生态环境。政府一般都会将电池纳入本地循环再利用计划（加利福尼亚要求对几乎所有的电池进行循环再利用）。为获取细节信息，你必须查询自己所在地区的有关法规。

烧掉的保险丝没有更多的用处，可以丢掉。

受到保险丝保护的第二节电池，应该还是好的。电池盒也可以在以后再用到。

实验 3　你的第一个电路

现在是时候让电来做些有点儿用的事情了。为此，你将用到电阻器、发光二极管（LED）之类的东西。

以下是你需要准备的东西。

- ❒ 1.5 V 的 AA 电池，数量：4 节。
- ❒ 装 4 节电池的电池盒，数量：1 个。
- ❒ 电阻器：470 Ω、1 kΩ、2 kΩ 或 2.2 kΩ（2.2 kΩ 的比 2 kΩ 的更为常见，这个实验用哪个都可以）。数量：各 1 个。
- ❒ LED，任何类型，数量：1 个。
- ❒ 弹簧夹，数量：3 个。

预备工作

现在让我们来熟悉电路中最基本的元件——电阻。顾名思义，它阻碍电流的流通。你应该可以想到，其值用欧姆来度量。

如果你是通过讨价还价买来的电阻套装包，那么可能找不到什么说明性文字专门来告诉你阻值。这没什么，我们可以很容易地找出各个电阻的阻值。实际上，即使它们被清楚地贴上了标签，我也希望你亲自去核实它们的阻值。有两种方法确定阻值。

- ❒ 使用万用表。这是学习阅读万用表读数的很好的练习。
- ❒ 学习识别印制在大多数电阻器上的彩色代码。请参照“基础知识：解码电阻器”部分的指示。

在核实了电阻阻值之后，应该将它们归类放入贴有标签的小塑料元件盒中。就我个人而言，我喜欢 Michaels 连锁的手工艺品店里卖的盒子，不过你也可以从许多其他渠道找到自己需要的元件盒。

背景知识

电磁学之父

安德烈·玛丽·安培于 1775 年出生于法国（图 1-40），是一个数学神童。他主要通过在父亲的图书馆里自学，而成长为一位科学教师。他最著名的工作就是在 1820 年得出了一个电磁学理论，对电流产生磁场的方法进行了描述。他还制造了第一台测量电流的仪器（现在称作检流计），并发现了氟元素。



图 1-40 安培发现，通过导线的电流会在导线的周围产生磁场。他应用这个原理第一个对电流（即安培数）进行了可靠的测量

基础知识

解码电阻器

在有些电阻上面，人们通过显微打印技术清楚地标明了阻值，可以用放大镜查看。而大多数的电阻是采用条形的彩色码来表示阻值。这些色码的表示原理是这样的。首先，略去电阻本身的颜色。其次，先寻找一条银色或金色的色环。如果找到了，则将电阻的这一端转到右手侧。银色表示阻值的精度是 10% 以内，而金色则表示阻值的精度是 5% 以内。如果没有找到银色或金色的色环，则转动电阻，使聚集条码的一端在左。现在你将发现左端有 3 根色环。有些电阻有更多的色环，但我们这里只介绍最常见的情况。见图 1-41 和图 1-42。



图 1-41　在有些电阻上印有阻值，不过你也许得用放大镜才能读得出来。图中这个 15 kΩ 的电阻器的长度不到 0.5 in

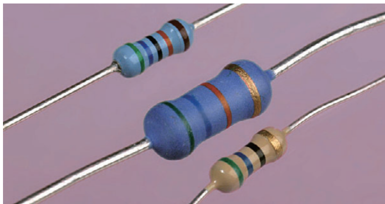


图 1-42　从上到下，电阻器的阻值依次为 56 000 Ω（56 kΩ）、5 600 Ω（5.6 kΩ）和 560 Ω。电阻器的尺寸告诉我们它能处理的功率数，而跟阻值没有任何关系。图中较小的电阻器的标定功率为 0.25 W，中间较大的电阻器可以承受 1 W 的功耗

从左边开始，第一个和第二个色环依据下面左表进行编码。

第三个色环有不同的意义，告诉你应该在前述的数字后面增加几个零，具体意义如下面右表。

黑色	0
棕色	1
红色	2
橙色	3
黄色	4
绿色	5
蓝色	6
紫色	7
灰色	8
白色	9

黑色	—	不增加零
棕色	0	1 个零
红色	00	2 个零
橙色	000	3 个零
黄色	0000	4 个零
绿色	00000	5 个零
蓝色	000000	6 个零
紫色	0000000	7 个零
灰色	00000000	8 个零
白色	000000000	9 个零

请注意色码在上述两个表中的解读是一致的，以绿色为例，它意味着数值 5（对于前两个色环）或 5 个零（对于第三个色环）。此外，彩色在上述两个表中的顺序也跟它们在彩虹中出现的顺序是一样的。

因此，色码为棕–红–绿的电阻器的数值为 1-2，零的个数为 5，相应的电阻值为 1 200 000Ω，即 1.2 MΩ。色码为橙–橙–橙的电阻器，其数值为 3-3，零的个数为 3，因此阻值为 33 000 Ω，或 33 kΩ。色码为棕–黑–红的电阻器，其数值为 1-0，附加的零为两个，阻值为 1 kΩ。图 1-43 给出了另外一些例子。

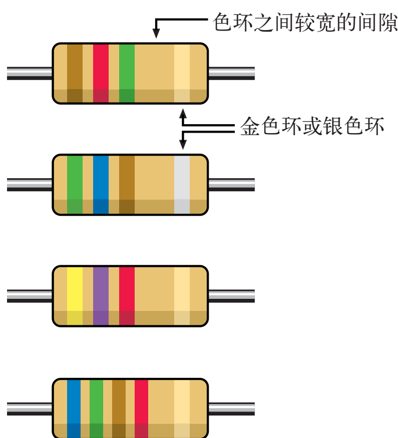


图 1-43　在读取电阻器的阻值时，先转动电阻器，将银色或金色的色环转到右端，或者将色环聚集的一端转到左端。从上到下计，第一个电阻器的数值为 1-2 加 5 个零，即 1 200 000 Ω（1.2 MΩ）；第二个电阻器是 5-6 加 1 个零，即 560 Ω；第三个是 4-7 加两个零，即 4 700 Ω 或 4.7 kΩ；最后一个是 6-5-1 加两个零，即 65 100 Ω（65.1 kΩ）

如果遇到的电阻器有 4 个色环而不是 3 个（不算精度色环），那么前 3 个是数字位，第四个是零的个数。第三个数字色环使得阻值的表示精度更高。

弄糊涂了吧？绝对的！这就是为什么说用万用表来检测阻值更容易的原因了。不过要记住，万用表的读数可能会稍微偏离电阻器上标的阻值。这有可能是因为你的万用表不绝对精确，也可能是因为电阻器不绝对精确，当然也可能两个原因都有。只要误差在标称值的 5% 以内，对于我们的实验就不会有什么影响。

点亮 LED

现在拿出一个 LED，好好看看。老式的灯泡由于将电转换成了热而浪费了许多的电能。LED 则精巧得多：它们几乎把所有的电能都转换成了光，并且寿命几乎是无限长（只要你使用正确就不会有事）。

LED 对所获得电能的数量、获得的方式都十分挑剔。请永远遵从以

下规则。

- ❒ 从 LED 中伸出的较长引线必须获得较高的电压，另一条较短的引线必须获得较低的电压。
- ❒ 长引线和短引线之间的电压差不得超过制造商给定的限制值。
- ❒ 通过 LED 的电流不得超过制造商给定的限制值。

如果违反这些规则会有什么后果呢？好吧，下面我们就来寻找答案！

请确保你使用的是新电池。可以将万用表设置在 DC 电压档来进行核实，让探针接触每节电池的两个端子。应该可以看到每节电池产生的电压都至少有 1.5 V。如果读数稍高于 1.5 V，应该是正常的。电池开始用时的电压都高于其额定电压，你继续使用下去，其电压就会慢慢变小。电池待在货架上未使用也会失去一部分的电压。

将电池装入电池盒（注意正确装入电池，电池的负端子应该压紧在电池盒的弹簧上）。使用万用表测量从电池盒的引线出来的电压。得到的电压至少应该有 6 V。

现在选择一个 2 kΩ 的电阻器。记住，2 kΩ 就是 2 000 Ω。如果上面有色码，就应该是红–黑–红，意味着 2-0 再加上两个零。由于 2.2 kΩ 的电阻器比 2 kΩ 的更为常见，如果需要，你可以用其中一种代替另一种。2.2 kΩ 电阻器的色码应该是红–红–红。

将电池盒接入电路，如图 1-44 和图 1-45 所示，请使用弹簧夹来进

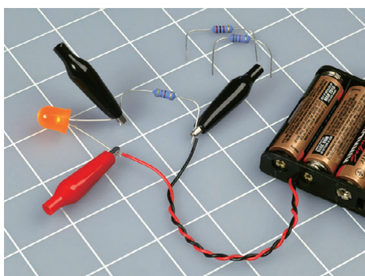


图 1-44　实验 3 的电路布局，其中可以看到 470 Ω、1 kΩ 和 2 kΩ 的电阻器。按照图示，用弹簧夹进行安全的连接，在同样的连接位置，每次换用一个电阻器，同时观测 LED 的发光情况

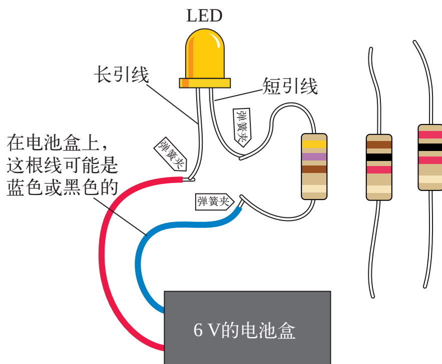


图 1-45　这个图是实验的大致样子，其中用的是一个大 LED。如果从最高阻值的电阻器开始，那么当连好电路时，LED 的发光将十分微弱。电阻器上落下大部分的电压，留给 LED 的电压产生不了足够的电流，因而发不出明亮的光

行连接。你应该可以看到 LED 发光十分微弱。

拿掉 2 kΩ 的电阻器，换成一个 1 kΩ 的，其色码应该是棕–黑–红，表示 1-0 外加两个零。这时 LED 应该变得更加明亮。

拿掉 1 kΩ 的电阻器，换成一个 470 Ω 的，其色码应该是黄–紫–棕，表示 4-7 外加一个零。这时 LED 应该更亮一些。

这看似十分简单，却点出了一个要害，就是电阻器在电路中阻断了一部分的电压。可以将它想象成是软水管上的一个纽结或者一个狭窄的地方。阻值较高的电阻器阻断较多的电压，留给 LED 的就越少了。

清理与回收

在下一个实验中我们将重复使用这里的电池和 LED。电阻器则可以留待将来使用。

实验 4 改变电压

电位器有不同的形状和尺寸，但功能都是一样的，就是让你可以通过改变电阻来改变电压和电流。这个实验让你有更多的机会来学习电压、电流以及它们之间的关系。你也将学习如何阅读制造商的参数说明书。

你需要使用上一个实验中用过的电池、电池盒、弹簧夹以及 LED，另外还需要下列器件。

- ❒ 电位器，2 kΩ 线性的。数量：2 个。大小像图 1-46 那样的电位器越来越不常见了，取代它们的是微型版的。我希望大家使用大个的，因为它们容易操作。
- ❒ 另外一个 LED。
- ❒ 万用表。



图 1-46

看看电位器的内部

我希望你做的第一件事就是发现电位器的工作原理。这意味着你必须拆开它，这就是购物清单上要求你购买两个的原因，因为我担心你无法将拆开的第一个恢复到它原来的样子。

大多数的电位器是用凸出的小金属片来保持一体的。你应该可以用

钢丝钳或小钳子夹住这些金属片，使它们往上、往外弯。如果你这样做，就可以将电位器打开，如图 1-47 和图 1-48 所示。


图　1-47


图 1-48　为了打开电位器，首先要将四周的四个小金属片往上撬起（在图 1-47 中，可以看到左边有一片伸出，右边也有一片伸出）。内部有一个线圈（绕在一个扁平的塑料片上），以及一对弹簧触点（滑臂）。当你转动转轴时，这对触点可以将电从线圈的任何位置引入或接出

取决于你手上的电位器是十分廉价的，还是稍微高级一点，你找到的可能是一个导电塑料的环形轨道或者是一个环形的线圈。无论是哪一种，原理都是一样的。导线或塑料都有一些电阻（这种情况下总电阻是 2 kΩ），当你转动电位器的转轴时，一个滑动臂在电阻上摩擦滑动，可以给你提供一条从中心接头到任意点的捷径。

你可以试着将各个部件装回去，如果装回去的电位器不能工作，就使用备用的那个电位器吧。

为了测试电位器，请将万用表设置在电阻档（欧姆档），插好探针，同时来回转动电位器的转轴，如图 1-49 所示。

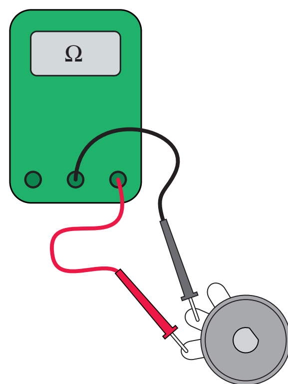


图 1-49　在来回转动电位器的转轴的同时，测量电位器这两个端子之间的电阻

调暗 LED

首先要将电位器沿逆时针方向旋到底，否则我们开始实验之前 LED 就会被烧掉。（有极少数的电位器，它们增大和减少电阻的方向正好跟我这里的描述相反，不过只要你打开的电位器是图 1-48 的样子，那么我上面的描述就是正确的。）

接下来再如图 1-50 和图 1-51 那样将所有东西连接起来，其中要注意不要让各个弹簧夹的金属部分彼此互相接触。现在我们**十分缓慢地**转动电位器，你将看到 LED 的发光一点点地变得越来越亮——直到某个时刻，你发出哎呀一声，它熄灭了！你看，现代的电子产品是多么容易被毁坏哦！丢掉这个 LED。它再也不会发光了。换一个新的 LED，这次我们将更加小心。

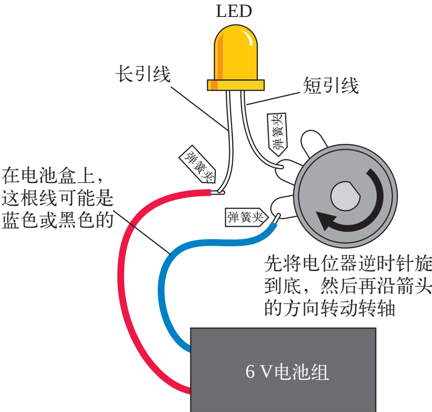


图 1-50 实验 4 的电路布局。转动 2 kΩ 电位器的转轴，将其电阻从 0 Ω 变到 2 000 Ω。这个电阻将保护 LED，使其不致被电池 6 V 的满电压破坏



图 1-51 照片中的 LED 是暗的，因为我将电位器的电阻调得太大了

在电池连接到电路以后，将万用表设置在 DC 电压档，如图 1-52 到图 1-54 所示。用探针接触 LED 的每一侧。在你一点点或上或下地转动电位器的时候，注意保持探针的接触不动。你将看到 LED 上的电压相应地在变化着。我们将这根电压称作 LED 两根引线之间的电位差。



图 1-52



图 1-53

如果你用的是老式的微型灯泡而不是 LED，你将看到电位差的变化更大，因为灯泡的行为更像一个纯电阻，而 LED 具有一定程度的自调节能力，它会随着电压的变化调节自身的电阻。



图 1-54　不同的万用表有不同的方法来测量 DC 电压。手动调节的万用表（图 1-52）需要你自己将滑动开关移动到 DC 位置，然后选择你想要测量的最高电压：我们的情况是选择 20（因为 2 太小）。如果用的是自动量程的 RadioShack 万用表，你只需将其设置为 V，然后万用表将自己确定使用的量程

下面让探针接触我们正在使用的电位器的两个端子，以便测量两端子之间的电位差。由于电位器与 LED 共享电池提供的总电压，因此，当电位器上的电位差（电压降）上升时，LED 上的电位差就下降，反之亦然。请参考图 1-55 到图 1-57。请注意以下几点。

- 因为是由电池供电的，所以即使你让电路中某个器件的电压降增加了，但电路中总的电压降是不会变化的。

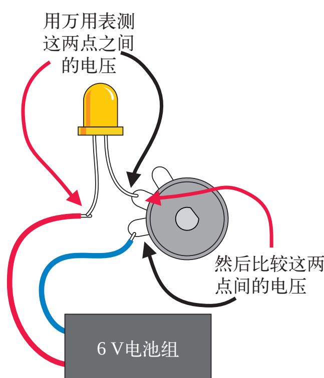


图 1-55　如何测量一个简单电路中的电压

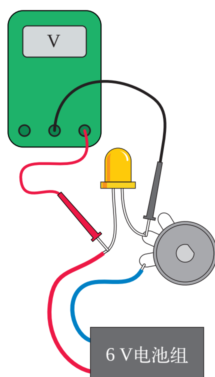


图 1-56　万用表显示 LED 承受的电压

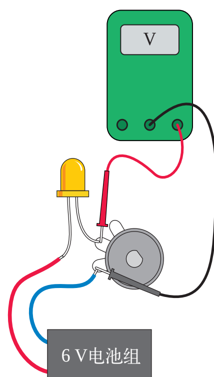


图 1-57　万用表显示电位器承受的电压

- 电压测量是一个相对的过程，总是在电路的两个点之间进行测量。
- 要像用听诊器一样来使用万用表，不要干扰或打断电路的连接。

检测电流

接下来我希望你来做另一个不同的测量。我要你将万用表设置到

mA（毫安）位置，来测量电路中的流量（即电流）。在测量电流时，请记住以下几点。

- 只有电流流过万用表，才可以对其进行测量。
- 你必须将万用表连接到电路中去。
- 太大的电流将烧断万用表内的保险丝。

在做这个实验前，请确保将万用表设置在 mA 档，而不是 V 档。在测量 mA 时，有些万用表要求将两根引线中的一根移到万用表上另一个插孔中去。见图 1-58 到图 1-61。

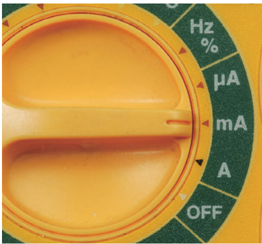


图 1-58 如果试图测量过大的电流，无论哪个万用表都会烧掉其内部的保险丝。在我们的电路中，只要电位器保持在其阻值范围的中间位置，就不会有烧断保险丝的危险。选择 mA 档来测量毫安级的电流，要记住这时从万用表上读出的是安培的千分数

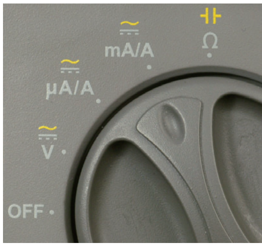


图 1-59



图 1-60



图 1-61 手动万用表（例如图中所示的万用表）也许会要求你将红色的引线移动到不同的插孔来测量毫安数的电流。大多数现代的万用表不会这么要求，除非你要测量很大的电流

如图 1-62 那样，将万用表接入电路。旋转电位器的转轴不要超过一半的路程。电位器的电阻可以保护你的万用表，也可以保护 LED。如果万用表通过的电流太大，你就不得不替换其内部的保险丝。

当你一点点或上或下地调节电位器时，应该可以发现电路中电阻的变化改变着电流的流量，即改变着安培数。这就是在前面的实验中 LED 为什么会烧掉的原因：太大的电流使它变热，热量使得它的内部

被熔化，就像前一个实验中的保险丝一样。**大电阻限制电流的流量（即安培数）**。

现在将万用表接入电路的另一部分，如图 1-63 所示。当你或上或下地转动电位器时，你应该得到跟图 1-62 的配置完全一样的结果。这是因为：在相同的电路中，各点的电流是相同的。**这是必需的，因为电子流没有其他的地方可去**。

现在是用具体的数字来进行说明的时候了。请做最后一项任务。拿掉 LED，换成一个 1 kΩ 的电阻器，如图 1-64 所示。现在，电路的总电阻是 1 kΩ 加上电位器提供的电阻（具体数值取决于你如何设置）。当然万用表也有一点电阻，不过它太小了，可以忽略不计。

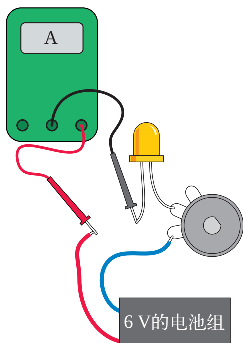


图 1-62　像本图以及图 1-63 那样，要测量电流，电流就必须流过万用表。当你增大电阻时，就会限制电流的流过，流过的电流越小，LED 的发光就越弱

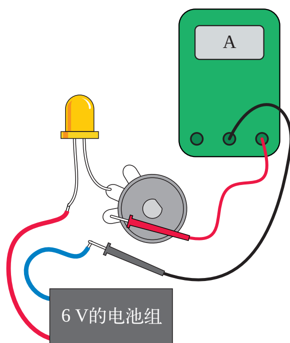


图　1-63

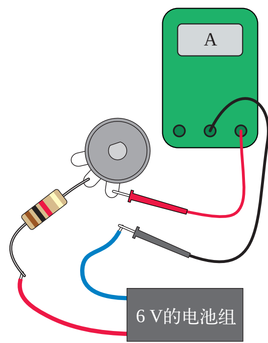


图 1-64　如果用一个电阻来替换 LED，你可以证明：只要总电压不变，那么流过电路的电流随着电路的总电阻的变化而变化

将电位器逆时针旋到底，电路的总电阻将变成 3 kΩ。这时，万用表应该显示流过了大约 2 mA 的电流。然后将电位器旋到半路，这时总电阻大约是 2 kΩ，应该看到大约 3 mA 的电流流过万用表。将电位器顺时针旋转到底，此时的总电阻是 1 kΩ，应该可以看到 6 mA 的电流流过。你也许已经注意到了，如果我们将电阻乘以电流，每次得到的都是 6——这正好是施加到电路上的电压。请看下表。

实际上，我们可以说：

电压 = 千欧数 × 毫安数

总 电 阻	电 流	电 压
（kΩ）	（mA）	（V）
3	2	6
2	3	6
1	6	6

不过，由于 1 kΩ 是 1000 Ω，1 mA 是 1/1000 A，因此上面的公式其实应该是下面的样子：

电压 =（欧姆数 ×1000）×（安培数 /1000）

两个系数 1000 互相约去了，所以我们得到：

伏特数＝欧姆数 × 安培数

这就是欧姆定律。请参考下面的“基础知识：欧姆定律”。

基础知识

串联和并联

在继续讲解之前，你应该知道当你通过串联或并联的方式往电路中加入电阻器的时候，电路中的电阻值是如何变化的。图 1-65 到图 1-67 说明了这个问题。请记住以下两点。

- 串联的电阻是一个跟着另一个排列的。
- 并联的电阻是肩并着肩排列的。

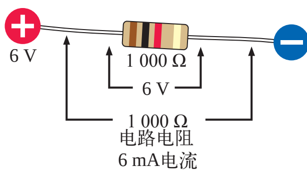


图 1-65 一个电阻器承受了所有的电压，因此，根据欧姆定律，其中通过的电流为 V/R = 6/1 000 = 0.006 A = 6 mA

当你将两个等值的电阻器串联时，总电阻加倍，这是因为电流必须依次通过两个障碍。

当你将两个等值的电阻器并联时，总电阻减半，这是因为你给电流提供了两条通路，而不是原来的一条。

实际上，我们通常没有必要将电阻器并联起来，但我们却常常把其他类型的元件并联在一起。例如，你家里的灯泡就都是并联接线的。因此，有一个道理十分有用，你应该了解，就是随着你增加并联元件的数目，电路的电阻将随之下降。

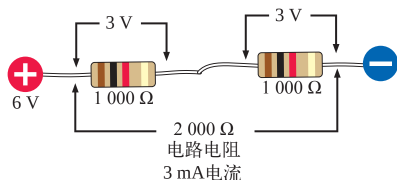


图 1-66　当两个电阻器串联时，电流必须通过其中一个才能到达另一个，因此每个承受一半的电压。现在总电阻是 2 000 Ω，根据欧姆定律，流过的电流是 V/R = 6/2 000 = 0.003 A = 3 mA

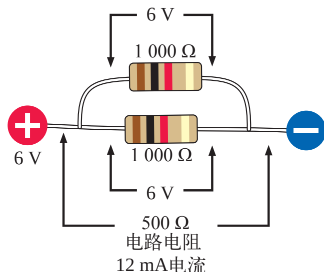


图 1-67　当两个电阻器并联时，每个都承受满电压，因此每个承受 6 V 电压。现在电流可以同时通过两个电阻器，所以电路的总电阻变成了原来的一半。根据欧姆定律，电路流过的电流是 V/R = 6/500 = 0.012 A = 12 mA

基础知识

欧姆定律

人们常用字母 I 来表示电流的安培数（这样表示的原因，我稍后会解释），用 V 来表示电压的伏特数，用 R 来表示电阻的欧姆数（因为大多数键盘都不容易敲出希腊字母 Ω）。采用这些符号，可以将欧姆定律写成 3 种不同的形式。

$$V = I \times R$$

$$I = V/R$$

$$R = V/I$$

请记住，其中 V 是一个简单电路中两点之间的电压差，R 则是这两点之间电阻的欧姆数，I 是这两点间流过电路的电流的安培数。

之所以使用字母 I 来表示电流，是因为最初是用电流的**感应能力**（inductance，即感生磁场效应的能力）来测量电流的。若用 A 来表示电流的安培数，将不会引起任何的混乱，但可惜的是这个想法出现得太晚了。

应用欧姆定律

欧姆定律特别有用。例如，它可以帮助我们判断一个元件能否安全

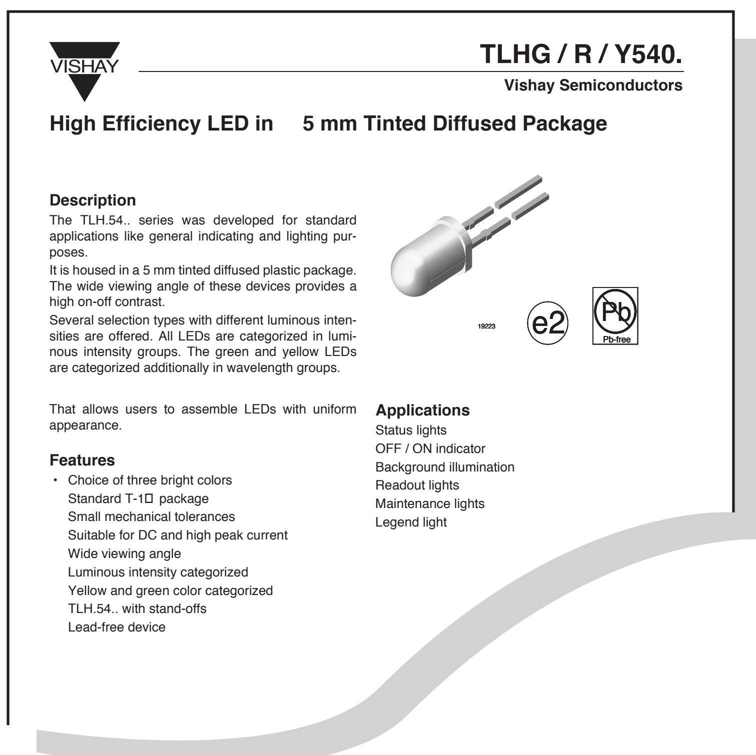
地使用在一个电路中。我们再也无需给元件加上电压直到其被烧坏，而可以通过欧姆定律来预测其能否工作。

再如，当你第一次转动电位器的时候，你其实不知道在 LED 被烧坏之前你到底能够将电位器调到什么程度。而如果你能够精确地知道 LED 需要串联的电阻值，使其既得到适当的保护，又发出尽可能多的光，那不是很有用吗？

如何阅读参数说明书

跟大多数信息一样，这个问题的答案可以在网上找到。

找到制造商的参数说明书（图 1-68）的方法是这样的。首先，从一个邮购资源找到自己感兴趣的元件。然后，利用 Google 搜索产品型号和制造商名称。通常参数说明书将列出在第一个点击项的位置。像



VISHAY

TLHG / R / Y540.

Vishay Semiconductors

High Efficiency LED in 5 mm Tinted Diffused Package

Description

The TLH.54.. series was developed for standard applications like general indicating and lighting purposes.

It is housed in a 5 mm tinted diffused plastic package. The wide viewing angle of these devices provides a high on-off contrast.

Several selection types with different luminous intensities are offered. All LEDs are categorized in luminous intensity groups. The green and yellow LEDs are categorized additionally in wavelength groups.

That allows users to assemble LEDs with uniform appearance.

Features

- Choice of three bright colors
- Standard T-1□ package
- Small mechanical tolerances
- Suitable for DC and high peak current
- Wide viewing angle
- Luminous intensity categorized
- Yellow and green color categorized
- TLH.54.. with stand-offs
- Lead-free device

19223

e2

Pb

Pb-free

Applications

Status lights

OFF / ON indicator

Background illumination

Readout lights

Maintenance lights

Legend light

图 1-68　一个典型的参数说明书的开始部分，包括了产品所有的相关指标，可以在网上免费得到

Mouser.com 一类的资源会给你提供很多产品的直接链接，指向制造商的参数说明书，使得寻找参数说明书的过程更加容易。

背景知识

一根导线消耗的电压是多少？

通常，电线的电阻可以忽略不计，例如电阻器伸出的小引线，因为它微不足道。然而，如果你试图让大电流通过又长又细的导线，那么导线的电阻就变得相当重要了。

那有多重要呢？这里我们可以再次使用欧姆定律来找到答案。

假定这根很长的导线的电阻是 0.2 Ω。我们希望其通过 15 A 的电流。那么由于导线电阻的原因，这根导线将从电路中偷走多少电压呢？

还是从自己知道的入手，把知道的写下来：

$$R = 0.2$$

$$I = 15$$

我们想知道 V，即导线的电位差，因此使用 V 在左端的欧姆定律。

$$V = I \times R$$

代入数值可得

$$V = 15 \times 0.2 = 3$$

如果你用的是高压电源，3 V 不是一个很大的份额，但如果你用的是 12 V 的汽车电池，那么这样长的导线就将占掉可用电压的四分之一。

现在你知道为什么汽车中的导线相对较粗的原因了吧——为了将其电阻降低到远低于 0.2 Ω 的水平。参见图 1-69。

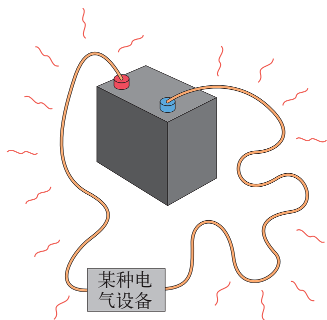


图 1-69　当一个 12 V 的汽车电池通过一根细长的导线来给电气设备供电时，导线的电阻将偷掉部分的电压，以热量的形式散发出来

假定我需要一个红色的 LED，譬如 Vishay Semiconductor 公司型号为 TLHR5400 的 LED，它是十分常用的元件，用 9 美分就可以

背景知识

瓦特（功率）溯源

詹姆斯 • 瓦特（James Watt）于 1736 年出生于苏格兰，是蒸汽机的发明者（图 1-70）。他曾在格拉斯哥大学（University of Glasgow）建立了一个小型车间，专注于完善利用蒸汽来推动圆柱体中活塞的装置，以提高其效率。由于财政上的问题以及过于原始的金属加工工艺，其发明直到 1776 年才得到实际应用。

尽管在获得专利方面存在困难（当时的专利要由议会通过法案来授予），但瓦特及其商业合伙人最终还是从他的创新发明中赚到了一大笔钱。虽然瓦特的工作（不是电方面的研究工作）要远早于电的开拓者们的工作，但人们是在 1889 年（他去世后 70 年）以他的名字命名了电功率的基本单位，即瓦特等于安培乘以伏特（请参考“基础知识：瓦特”）。



图 1-70　瓦特发明的蒸汽动力拉开了工业革命的大幕。他去世之后，人们以他的名字作为电功率的基本单位，以纪念他的贡献

买到。点击一下制造商 Vishay 公司提供的参数说明书的链接，几乎立即就有一个 PDF 页面跳出显示在我的计算机屏幕上。这个参数说明书对应于 TLHR、TLHG 和 TLHY 三种类型的 LED，分别对应于红、绿和黄三种颜色，具体由产品代码中的字符 R、G 和 Y 来表示。往下翻动，可以看到“光学与电气特性”一节。它告诉我们，当 LED 通过 20 mA 的电流时为其典型的工况，相应的正向电压为 2 V。最大的电压是 3 V。

并非所有的参数说明书都同一格式，我们再来看个例子。我选择另一种 LED，Kingbright 公司型号为 WP7113SGC 的 LED。点击制造商网站上的链接，在参数说明书的第二页可以得到：典型正向电压为 2.2 V，最大 2.5 V，以及最大正向电流为 25 mA。此外还发现了一些其他信息：最大反向电压为 5 V，最大反向电流为 10 μA（即微安，它比毫安小 1 000 倍）。这告诉我们，应该避免在 LED 上施加过高的方向错误的电压。如果超过了最大反向电压，就有烧坏 LED 的危险。永远要留意 LED 的极性！

Kingbright 公司提供的参数说

明书也提醒我们 LED 能够承受多高的热量：在 260℃（500 ℉）下可以承受几秒钟。这是很有用的信息，因为我们很快就要把弹簧夹放在一边，而用热的、熔化的焊锡来连接电气元件。由于在开始的 4 个实验中我们就已经毁掉了一节电池、一个保险丝以及一个 LED，因此，当我告诉你在用电烙铁来测试元件的极限时，我们还将毁坏好几个元件，你也许不会感到惊讶。

总之，现在我们已经知道了 LED 的需要，因此就可以考虑如何去满足它的需要。如果你在处理十进制小数点方面有任何困难，那么在继续之前，请阅读“基础知识：十进制小数”。

LED 需要多大的电阻

假定我们用的是 Vishay 公司的 LED。还记得它的参数说明书中提出的要求吗？最大电压 3 V，安全电流 20 mA。

我将限制其电压为 2.5 V，这在安全范围之内。我们的电池电压是 6 V。6 减去 2.5 等于 3.5。因此，我们需要一个电阻器来从电路中分走 3.5 V，留下 2.5 V 给 LED。

在一个简单电路中，各处的电流都是一样的。如果希望流过 LED 的最大电流为 20 mA，那么相同的电流也将流过电阻器。

现在我们可以写下电路中关于电阻的一些已知信息了。请注意我们必须将所有的单位转换成伏特（V）、安培（A）和欧姆（Ω），因此 20 mA 应该写成 0.02 A。

$$V = 3.5\text{（电阻器上的电压降）}$$

$$I = 0.02\text{（流过电阻器的电流）}$$

我们想知道 R，即电阻的值。因此使用 R 在左侧的欧姆定律：

$$R = V/I$$

现在代入数值

$$R = 3.5/0.02$$

如果你对十进制小数存在混淆不清问题，那么请使用计算器。其答案是

$$R = 175\ \Omega$$

由于 175 Ω 不是标准的电阻值，因此你可能得使用 180 Ω 或 220 Ω 的电阻器，不过这已经足够接近了。

显然，在实验 3 中使用 470 Ω 的电阻器是十分保守的选择。我之所以建议这样一个数值，是因为我刚开始时说过你完全可以使用任意的 LED。我想无论你选择哪种 LED，470 Ω 都可以保护它，使它处于安全状态。

清理与回收

烧坏的 LED 可以扔掉。其余东西都可以重复利用。

基础知识

十进制小数

传奇式的英国政治家丘吉尔（Sir Winston Churchill）曾因抱怨“那些该死的点”而出名。他所指的是十进制小数点。丘吉尔当时是财政大臣，负责整个政府的开支，但他在十进制方面的困难却成了一个相当不小的问题。然而，他以历史悠久的大不列颠风格克服了困难，我相信你也会的。

你可以选择使用计算器，或者选择遵从以下的两条基本规则。

乘法：小数点后面的总位数不变

假定你需要计算 0.04 乘以 0.005，那么

(1) 数出十进制小数点后面的总位数。在这个例子中，是 $2+3=5$。

(2) 将零后面的数字相乘。在这个例子中是 $4\times5=20$，是个两位数。

(3) 在结果 20 的前面（左侧）补 3 个 0，成为五位数，再在左侧补上“0.”。本例是 0.000 20，即 0.000 2。

除法：抵消零

假定你要计算 0.006 除以 0.000 2

(1) 将两个数的小数点往右移动（两个数要移相同的步数），直到两个数都大于 1。本例中，每个数的小数点要移动 4 步，因此得到 60 除以 2。

(2) 做除法。本例的结果是 30。

理论知识

在你的舌头上做算术

我将回到在以前的实验中曾经问过的一个问题：为什么你的舌头没有变热？

既然你已经学过了欧姆定律，就应该可以用具体数字来回答这个问题。假定电池的额定电压为 9 V，你舌头的电阻为 50 kΩ，即 50 000 Ω。写下自己知道的信息

$$V = 9$$

$$R = 50\ 000$$

我们需要知道电流 I 的值，因此使用 I 在左侧的欧姆定律

$$I = V/R$$

代入数据得到

$$I = 9/50\ 000 = 0.000\ 18\ A$$

将小数点移动三位转换成毫安

$$I = 0.18\ mA$$

这是一个微小的电流，在 9 V 下不会产生很多的热量。

当你短路电池时会怎么样呢？多大的电流能使导线发烫？就让我们假定导线的电阻是 0.1 Ω（也许会更小，但做个猜想，我先假定其为 0.1）。写下我们知道的信息

$$V = 1.5$$

$$R = 0.1$$

这里也需要求电流 I 的值，因此使用

$$I = V/R$$

代入数据得

$$I = 1.5/0.1 = 15\ A$$

这个电流是通过你舌头的电流的 100 000 倍，即使电压很低，它也可。以产生相当多的热量。

这样一个小小的电池真的能输出 15 A 的电流吗？请记住在导线变热的时候，电池也变热了。这就告诉我们，电子可能在电池内部也遇到了一些电阻，就像在导线中一样（否则的话，电池的热量是从哪里来的呢？）我们通常可以忽略电池的内阻，因为它很低。但

在大电流的时候，它就是一个需要考虑的因素了。

我以前曾不愿意通过万用表来短路电池，以测量电流。如果电流大过 10 A，我的万用表（的保险丝）将烧掉。不过我也曾经试过在电路中接入其他的保险丝来观看它们是否会烧掉。当我试用 10 A 的保险丝时，它没有熔断。因此，对于我所使用的电池牌号，我十分肯定其短路电流不超过 10 A，但我也知道它大于 3 A，因为 3 A 的保险丝立刻就烧掉了。

1.5 V 电池的内阻阻止了其短路电流变得太大。这就是为什么我在警示中反对使用大电池的原因（尤其是汽车电池）。较大的电池具有小得多的内阻，允许危险的高电流通过，产生的热量可能引起爆炸。汽车电池在设计上允许产生上百安培的电流，以启动汽车起动机。这样大的电流足以熔化导线、引起严重的火灾。实际上，你可以用汽车电池来焊接金属。

锂电池也具有低内阻，使得其在短路时十分危险。高电流跟高电压一样危险。

基础知识

瓦特（W）

到目前为止，我还没有好好介绍大家都熟悉的一个单位——瓦特。

瓦特是功的单位。工程师对于功有自己的定义——他们说功是一个人、动物或机器在推动某样东西去克服机械阻力时所做的。这样的例子包括蒸汽机拉着火车在轨道上前进（克服摩擦力和空气阻力），以及人上楼梯（克服重力）。

当电子在电路中运动时，它们也要克服一种阻力，所以也在做功，这可以用瓦特来度量。其定义很简单：

$$瓦特数 = 伏特数 \times 安培数$$

或者使用常用的符号来表示，可以得到以下 3 个公式（它们的意义相同）

$$W = V \times I$$

$$V = W/I$$

$$I = W/V$$

瓦特可以加上前缀“m”，表示“毫”瓦，就跟电压的情况一样。

瓦　　数	通常表示	缩　　写
0.001 瓦	1 毫瓦	1 mW
0.01 瓦	10 毫瓦	10 mW
0.1 瓦	100 毫瓦	100 mW
1 瓦	1 000 毫瓦	1 W

由于发电厂、太阳能发电、风电场发出大量的电，因此你也可以看到千瓦（使用前缀字母 k）和兆瓦（使用前缀字母 M，注意不要和小写字母 m 混淆，后者表示毫瓦）。

瓦　　数	通常表示	缩　　写
1 000 瓦	1 千瓦	1 kW
1 000 000 瓦	1 兆瓦	1 MW

灯泡用瓦数来标识，立体音响系统也是如此。瓦特的命名来源于詹姆斯·瓦特——蒸汽机的发明者。有时，瓦特还被转换成马力，反之亦然。

理论知识

功率估算

我早前提到，电阻器往往被标定为可以处理 0.25 W、0.5 W、1 W 等的功耗。我曾建议你购买 0.25 W 或者更高功耗的电阻器。我是怎样知道这一点的呢？

回到 LED 电路的例子。记得我们希望电阻器承受 3.5 V 的电压，相应的电流为 20 mA。这意味着电阻器上将承受多少瓦特的功率呢？

先将我们的已知信息写下来。

$$V = 3.5（电阻器承受的电压降）$$

$$I = 20\ mA = 0.02\ A（流经电阻器的电流）$$

我们希望知道功率 W，因此使用下面的公式

$$W = V \times I$$

代入有关数值得到

$$W = 3.5 \times 0.02 = 0.07\ W（电阻器消耗的功率）$$

0. 25 W 的电阻器将具有大约 4 倍所需的容量。实际上，你可以使用一个 0.125 W 的电阻器，但在未来的实验中，我们可能需要用到处理 0.25 W 的电阻器，此外，使用标称功耗大于实际功耗的电阻器也不会带来什么副作用。

实验 5　让我们制作一个电池

在很久以前，没有网络冲浪，没有文件共享，也没有移动电话，小孩子们特别缺乏教育，他们自娱自乐，在厨房的桌子上做起了将钉子和分币插入柠檬中来制作电池之类的实验。可能难以相信，但却是真的。

这虽然很老套，但我却希望你无论如何都要试一下，因为任何希望感觉到电的人都可以看到，从我们周围的日常物品中提取电是一件多么容易的事情。此外，如果你使用足够多的柠檬，就有可能产生足够的电压点亮一个 LED。

电池的基本部件是浸入到电解质里的两个金属电极。我这里不对这些术语进行定义（我们将在“理论知识：电的特性”中对其进行解释）。现在你需要知道柠檬汁是你的电解质，铜和锌是你的电极。一个分币可以提供所需的铜，只要它够新、够亮。分币已经不再是整块的铜了，但仍然是镀铜的，用在我们这里已经不错了。

为了找到一些金属锌，你可能必须去一趟五金店，到那里去买瓦楞钉。这种钉子是镀锌的，以防止生锈。小块的金属电极或补漏板通常也是镀锌的。它们应该具有黯淡的银光。如果它们像镜子一样光亮，那就可能是镀镍的。

将一个柠檬切成两半，将万用表设置在 2 V 的 DC 档，让一个探

针靠紧分币，另一个探针靠紧瓦楞钉（或其他镀锌物体）。接下来将分币和钉子插入柠檬暴露的果肉内部，二者尽可能靠近一点，但不要接触到一起。你将发现万用表检测到了 0.8 V ～ 1 V 的电压。

你可以试验不同的物品和液体，看哪种东西效果最好。将柠檬榨汁后倒入小玻璃酒杯或蛋杯中，再将钉子和分币浸泡在柠檬汁里，这应该可以增强电池的效果，不过这样的话，你得花点功夫才能使各样东西各就各位。也可以用葡萄汁和醋来代替柠檬汁。

为了驱动一般的 LED，你得有超过 1 V 的电压。怎样才能产生额外的电压呢？将电池串联起来就可以了！换句话说，就是需要更多的柠檬（或更多的小玻璃酒杯或蛋杯）！你也需要准备更多的导线来连接各个电极，这也许要求你跳到第 2 章，学习一下如何剥除连接线的绝缘层。图 1-71 和图 1-72 给出了试验的配置。

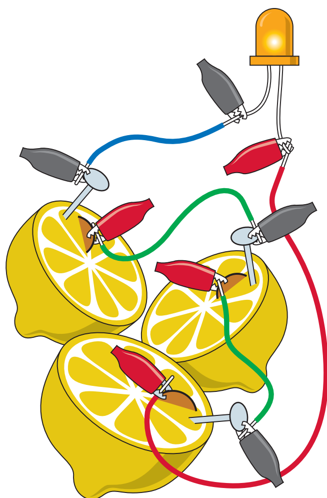


图 1-71　3 块柠檬构成的电池。如果 LED 没有点亮的话，请不要太失望。柠檬具有较高的电阻，因此无法提供太多的电流，当所用的铁钉和分币的表面积相对较小的时候尤其如此。不过，柠檬电池确实能够产生电压，这可以用万用表测量出来

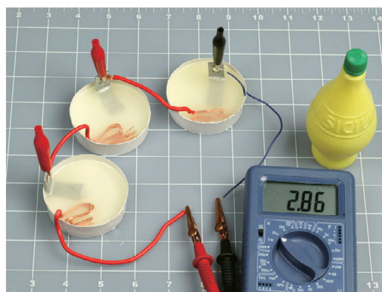


图 1-72　瓶装的柠檬汁似乎跟新鲜的柠檬汁一样起作用。我切取了 3 个纸杯的底部，在每个里面放入了一片镀锌的极板，并使用特别粗的编制铜导线作为正极

如果你小心设置各样东西，并确保电极之间没有接触，那么也许将 2 ～ 3 个柠檬汁电池串联起来就把 LED 点亮了。（有些 LED 对低电流更为敏感。稍后我将介绍极低电流的 LED。如果你希望你的柠檬汁电池能够顺利工作，可以在网上搜索一下低电流 LED 并买上几个。）

理论知识

电的特性

要了解电，你必须先掌握一点关于原子的基本信息。每个原子包含一个位于中心的原子核，原子核又包含着带正电荷的质子。原子核周围环绕着电子，电子带负电荷。

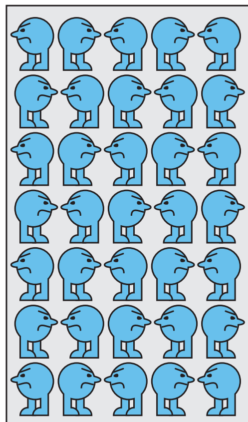


图 1-73　电极上的电子有个很坏的态度，就是互相排斥

打破原子的原子核需要许多能量，同时也可以释放出许多能量，正如核爆炸那样。但是让几个电子脱离原子（或加入原子）所需的能量却很小。例如，当锌同酸发生化学反应时，就可以释放出电子。这就是实验 5 中化学电池的锌电极中发生的事情。

由于电子在锌电极上积聚，反应很快就会停止。因为它们会感受到一个相互的排斥力，但却无处可去。你可以将它们想象成一群彼此充满敌意的人，人人都希望别人离开，并拒绝新人加入，如图 1-73 所示。

下面考虑这种情况：锌电极具有过剩的电子，而另一个电极因采用了不同的材料，出现了电子缺乏，当我们用一根导线将这两个电极连接起来时，会发生什么现象呢？由于电子会从一个原子跳到下一个原子，很容易地通过导线，因此，在彼此远离的强大欲望的驱使下，它们将逃离锌电极，流过导线。见图 1-74。这种互相的排斥力就是产生电流的原因。

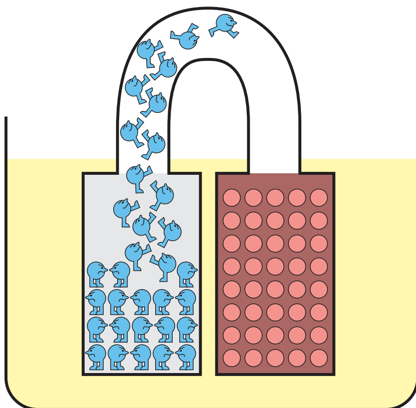


图 1-74　一旦我们在锌电极（其上聚集有电子）与铜电极（其上有为电子保留的“空穴”）之间打开一条通路，电子之间的互相排斥使得它们彼此试图尽可能快地逃离对方而到达它们的新家

锌电极上电子的数量减少了，锌–酸之间的化学反应继续进行，产生出新的电子来取代电极上逃走的电子，而这些新出现的电子将即刻具有它们先辈的特性，试图沿着导线跑开而彼此分离。这个过程一直进行下去，直到锌–酸反应慢慢停止下来，这通常是因为产生了化合物层，如锌的氧化物，而该氧化物是不会与酸发生反应的，也就阻止了下层的锌与酸发生反应（这就是当你将锌电极从酸性电解质中拿出来时，会看到锌电极看起来乌黑的原因）。

这个描述也适用于“原电池”，也就是说，一旦在原电池的端口之间建立连接，使得电子可以从一个电极输送到另外一个电极，那么它就将发出电来。原电池产生电流的大小取决于电池内部化学反应释放电子的速度。当电极中的金属原料在化学反应中被全部用完时，电池就无法继续产生任何的电力，而变成了死电池。它无法充电，因为化学反应不是那么容易反向进行的，而且电极可能已经被氧化了。

在可充电电池（也称蓄电池）中，通过电极和电解液的巧妙选择，使得化学反应的反向比较容易。

你的柠檬电池产生的电流有多大呢？将你的万用表设置在 mA 档，并将它连接在钉子和分币之间。我测得的是 2 mA，不过当我采用 10 号的编织铜线来代替分币、用一块大的补漏块来代替瓦楞钉，并将它们浸泡在一杯葡萄汁中以后，我得到了 10 mA 的电流。当较大的金属面积与电解液接触良好时，你就会得到较大的电流（不要把你的万用表直接接在真正电池的两个端子之间来测量其电流。这个电流将特别大，会烧掉万用表内的保险丝）。

你的柠檬电池的内阻是多少呢？拿掉铜电极和锌电极，把你的镀镍的万用表探针插入到果汁中去。当两个探针位于同一瓣柠檬中时，我得到的读数大约是 30 kΩ。但若探针位于不同的瓣中时，读数是 40 kΩ 甚至更高。当你测量杯中的液体时，电阻是不是更低呢？

这里有另外几个问题，你也许愿意去研究一番。你的柠檬电池可以产生多长时间的电？你认为是什么原因使得你的镀锌电极在使用了一会

儿之后就失去了颜色？

在电池中，是由于在金属之间的离子或自由电子的交换而产生了电。关于这一点如果你想知道得更多，请阅读之前的“理论知识：电的特性”。

清理与回收

你浸泡在柠檬或柠檬汁中的金属物件可能已经褪色，但它们是可以再利用的。至于要不要吃掉柠檬，那是你自己的事情。

背景知识

正电与负电

如果电是电子流，而电子具有负的电荷，那人们为什么说电是从电池的正端子流向负端子的呢？

答案在于电的研究历史上曾经发生的一次重大的尴尬事件。由于各种原因，在本杰明·富兰克林试图通过研究雷雨天的闪电之类的现象来理解电流的性质的过程中，他相信自己观测到了一种“电流体”从正流向负。他在 1747 年提出了这个概念。

事实上，富兰克林犯了一个很不幸的错误，这个错误在 150 年后的 1897 年物理学家约瑟夫·约翰·汤姆生声称发现了电子以前，一直没有得到纠正。电实际上是从一个具有较多负电荷的区域，流向某个“负得较少的”地方，即“更加正”的地方。换句话说，电是负的带电粒子的流动。在电池中，它们是从负端出发流向正端的。

你也许会以为，当以上事实公开以后，人人都应该放弃富兰克林的电流从正极到负极的观点。不过，当电子通过一条导线时，你仍然可以认为有等量的正电荷沿着相反的方向流动。当电子离开自己的老地方时，它带走一个小小的负电荷，因此它的老地方就会变得更正一些。当电子到达它的目的地时，它的负电荷使得其目的地变得不那么正。这跟一个假想的正电荷沿着相反的方向移动时发生的事情是完全一样的。不仅如此，所有描述电的行为的数学公式应用到假想的正电荷的流动时仍然是成立的。

考虑到传统问题以及为了方便，仍然保留了富兰克林的电流从正往负流的错误观念，因为这其实并没有导致什么差别。在表示二极管、晶体管等元件的符号中，你将发现一些用来提醒你的箭头，它们告诉你这些元件应该沿着哪个方向放置——这些箭头都是从正极指向负极的，尽管这根本不是电子流动的实际方向！尽管大多数的雷击发生在云层中的负电荷放电并中和地面上的正电荷的时候，但有些形式的闪电实际上却是由充有负电荷的地表面的电子往上流向云层并中和云层中的正电荷而形成的。如果富兰克林有机会知道这种情况，他定将十分惊讶。“受到雷击”的人很可能是被自己发出的电子所伤害而不是由于自己接收了电子（如图 1-75 所示），这是一个正确的观点。

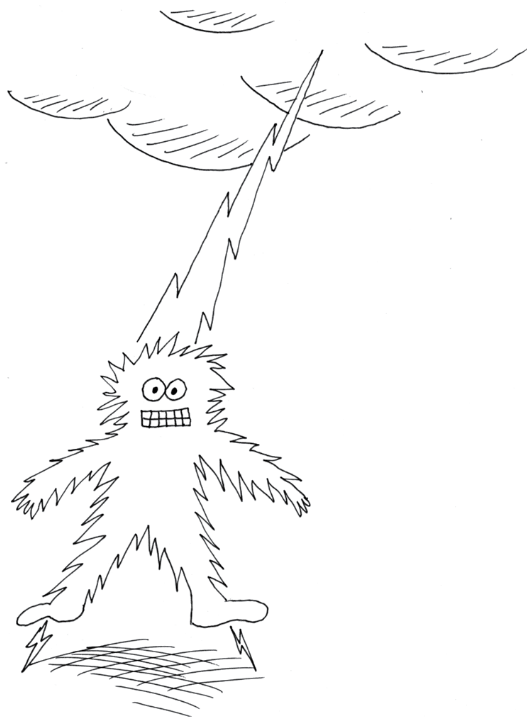


图 1-75　在某些天气情况下，雷击的电子流可能是来自地面，通过你的脚，流出你的头顶，再上到云层中。富兰克林对此可能会感到十分惊讶

理论知识

基本测量

电量是把每个电子的电荷相加得到的，其基本单位是库仑（C），1 C 等于大约 6 250 000 000 000 000 000 个电子的电荷。

如果你知道每秒有多少个电子通过一片金属，你就得到了电流，其单位是安培（A）。实际上，1 A 可以定义为 1 C/s。即

1 A=1 C/s

= 大约 6.25×10^{18} 个电子 / 秒

虽然没有办法“看到”导体中运动的电子的数目（图 1-76），但是可以通过间接的方法得到这个信息。例如，当一个电子通过一个导体时，它会在导体的周围产生一种电磁力。这个力是可以测量的，因而我们可以由它来计算电流。电力公司在你家中安装的电表就是利用这个原理来工作的。

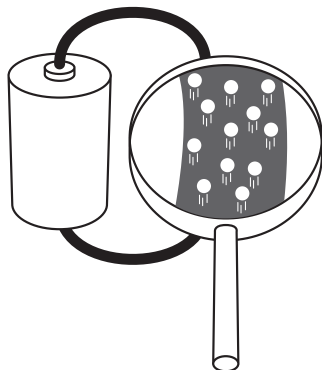


图 1-76　如果你可以用一个充分强大的放大设备来观测电线的内部，并且当时导线中正好载有 1 A 的电流，那么你也许希望看到每秒大约有 6.25×10^{18} 个电子在快速通过

如果电子只是自由运动，它们不会做任何的功。如果你有一根零电阻的导线环，并且以某种方式使一个电子流启动起来，那么它们将沿着导线永远地运动下去（这几乎就是超导体中发生的事情）。

在通常条件下，即使是铜导线也有一定的电阻。驱使电子通过导线所需要的力就是“电压”，它产生电流，进而产生热，正如你在短路电池时看到的那样（如果你使用的导线具有零电阻，通过它的电流就不会产生任何热量）。我们可以直接使用这个热量，电炉就是如此，也可以用其他的方式来使用电能，例如运转电动机。无论哪种方式，都是从电子中提取能量来做某种功。

1 V 可以定义为产生 1 A 的电流来做 1 W 的功时所需要的压力。前面曾经定义 1 W=1 V×1 A，但这个定义实际上来源于另一个公式，即

1 V=1 W/1 A

这个表述方式更有意义，因为瓦特可以用非电的术语来定义。如果你感兴趣，我们可以像下面这样，倒着往回推导国际单位制。

1 W = 1 J/s

1 J = 在 1 N 的力作用下前进 1 m

1 N = 每秒钟让 1 kg 的物体的速度增加 1 m/s 所需要的力

在此基础之下，电气单位都可以用质量、时间以及电子的电荷等物理量来确定。

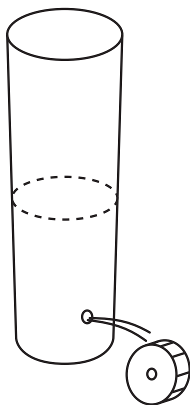


图 1-77　如果你想从一个系统中获取功……

实用为先

从实用的角度看，对电的直观理解要比理论更为有用。就我个人而言，我比较喜欢水的比方，它已经在电的启蒙课程中使用了数十年。图 1-77 显示了一个很高的、半满的水箱，在接近底部的地方扎有一个孔。将这个水箱看成是一节电池。水的高度相当于电压。每秒钟从孔中流出水的体积相当于电流。孔的狭窄度相当于电阻。见图 1-79。

在以上场景中，功率在哪里呢？假定我们放置一个小水轮，并让孔里流出来的水流冲击这个小水轮。我们可以让这个水轮带上某个机器。现在水流

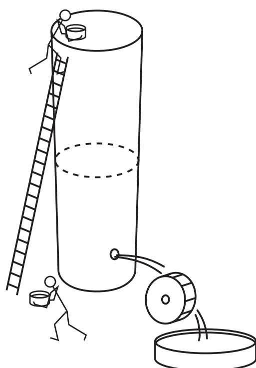


图 1-78　……你必须以这样或那样的方式往里面回送功率

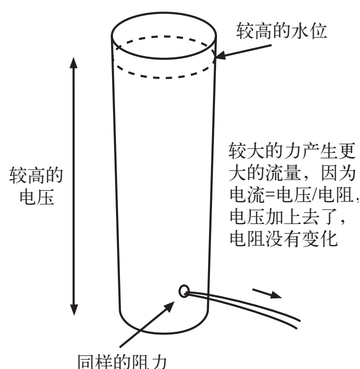


图 1-79　如果阻力不变的话，较大的力会产生更大的流量

已经在做功了（记住瓦特是功的一个量度）。

这看起来也许有点像无中生有，没有往系统中加入任何能量，却从水轮中抽取了功。但请注意，水箱中的水位在下降。只要我引入一些助手，来将废水搬运回水箱的顶部（图 1-78），你就会看到我们必须往里输入功才能从中得到功。

同样，电池似乎也是只发出功率而没有注入任何功率，但是其中的化学反应正在将纯金属转化成金属的化合物，我们从电池中获得的功率正是由这种状态改变得来的。如果是可充电电池，我们必须往回输入功率，来使化学反应反向进行。

回到水箱的例子，假定我们无法从其中得到足够的功率来转动水轮。那么一个方案就是加入更多的水。水的高度增加，从而会产生更大的力。这跟将两个电池正端对负端地串联起来、使电压翻倍的做法是一样的道理。见图 1-80。只要电路的电阻保持不变，较大的电压就将产生较大的电流，因为电流 = 电压 / 电阻。

如果我们想转动两个水轮而不是一个，会怎么样呢？我们可以在水箱上打第二个孔，每个孔上的力（电压）将是相同的。然而，水箱中的水位将以两倍的速度下降。确实，最好的方法是建造第二个水箱，这又显示出此比喻很恰当。如果你将两个电池肩并肩地连接，即并联起来，你得到的是同一个电压，但是可以用两倍的时间。两个电池也可以比一个电池发出更多的电流。见图 1-81。

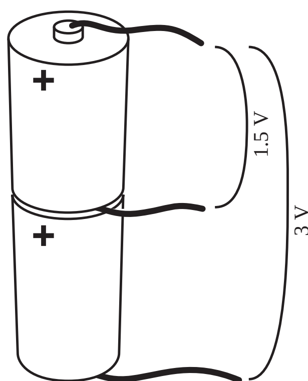


图 1-80　当你将两节相同的电池串联时，电压就加倍

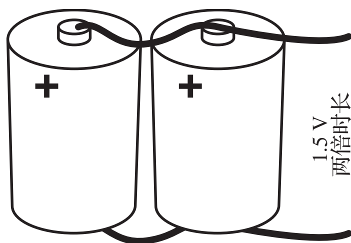


图 1-81　两节相同的电池并联将具有相同的电压和两倍的使用时间

总结出以下两点。

❒ 两个电池串联发出两倍的电压。

❒ 两个电池并联可以发出两倍的电流。

好啦，现在的理论已经远远够用了。在下一章中，我们将继续做一些建立在电的基础知识之上的实验，并将我们逐步地带向一些有趣且有用的小装置。

第 2 章　开关基础知识及相关内容

本章内容

- 购物清单（实验 6 到实验 11）
- 实验 6　极简单的开关
- 实验 7　继电器驱动的 LED
- 实验 8　继电振荡器
- 实验 9　时间与电容器
- 实验 10　晶体管开关
- 实验 11　一个模块化的项目

开关在电气电子学中是重要的基本概念，我这里所说的不仅仅是电源开关。当我说到“开关”一词时，我的意思是指利用一个电流来开关、控制其他的事情。这是一个重要原理，没有它数字设备就无法存在。

今天，开关操作几乎都是由半导体器件来完成的。在介绍半导体开关之前，我将通过介绍继电器来回顾和说明开关的概念，因为你可以看到继电器内部的工作情况，因而比较容易理解。而在介绍继电器之前，我会介绍日常生活中的开通 / 关断开关，它也许看起来特别简单，但我们必须打好基础。

在这一章中，我还将介绍电容，因为对于电路来讲，电容和电阻一样，都很基本、重要。在这一章的最后，你将掌握电气电子学的起码的基础知识，并且能够搭建简单的侵入报警器的噪音产生部分的电路。这将是你的第一个能够做些真正有用的事情的电路！

购物清单（实验 6 到实验 11）

跟前一个购物清单一样，你将访问许多在线供货商，查询器件、设备的供应者和价格。制造商很少直接出售少量的元件。附录提供了这里提到的所有公司网址的完整列表，供你参考。

设备



图 2-1 这个 AC 适配器提供 3 V 到 12 V 的电压，这对于电子实验项目来讲十分理想

- ❐ 电源 / 通用 AC 适配器，3 V 到 12 V、1 A（1 000 mA）。见图 2-1。采用 RadioShack 公司的 273-029，或 Philips 公司的 PH-62092，或其他类似的产品。
- ❐ 适合安放集成电路的面包板，数量：1 块。见图 2-2、图 2-3。选用 RadioShack 公司的 276-002，或 PSP 公司制造的 383-X1000，或 3M 公司制造的 923252，或其他类似产品。旁边安装有螺丝端子的面包板更易使用，但是比没有螺丝端子的要贵一些。

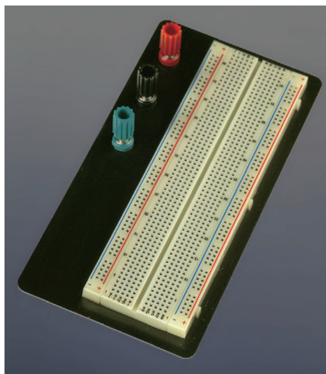


图 2-2 这个面包板用于快速搭建电子电路，它有金属的底板，以及用来接电源线的螺丝端子

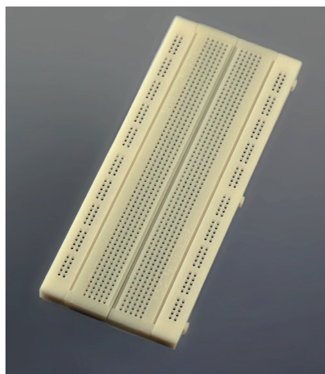


图 2-3 这个面包板没有螺丝端子，它几乎一样方便，而且更便宜

工具

剥线器

Ideal 公司的产品型号为 45-121 的剥线器可用于 16 号到 26 号线规，或其他类似的线规。见图 2-4（导线的“线规”告诉你导线有多粗。较高的线规意味着导线较细。在本书中，我们将主要使用 20 号到 24 号线规的导线）。

也可以考虑 Kronus 公司的自动剥线器，RadioShack 公司的产品型

号是 64-2981，或者 GB 的自动剥线器，在 Amazon.com 的编号是 SE-92。见图 2-5。



图 2-4　在使用这种剥线器时，将一根绝缘导线插入刀口适当尺寸的孔中，然后夹紧手柄，就会把一段绝缘层拉掉。参见图 2-20



图 2-5　这种自动剥线器可以单手操作，但不适合于直径特别细的导线。参见图 2-19

Kronus 与 GB 的剥线器功能是一样的。它们在设计上的优点在于，你用一只手就可以剥掉导线的绝缘层。但对于特别细的导线，它们的效果不好。

备用品

跳接线

实心导线，22 号线规，每种颜色至少 25 ft（1 ft = 0.304 8 m）。见图 2-6。可以选用 RadioShack 公司的 278-1221，或 McMasterCarr 公司的 9948T17，或在 eBay 上购买。



图 2-6　使用不同塑料绝缘颜色的跳接线可以在电路中帮助你区分导线

不留神就会买到错误种类的导线。你必须购买实心导线，其塑料绝缘层内的导线是单根的，而不是多股线（由多根细导线组成）。见图 2-7 和图 2-8。你需要将导线插入面包板的细孔中，多股线无法插入。如果你购买的导线比 22 号线规还粗，也将难以插入细孔。请记住：线规号越低，导线就越粗。

多花点儿钱，你就可以买到已经剪好、端部绝缘层已去掉、立马可用的一束跳接线。可以试试 All Electronics 公司产品目录中的 JW-140

（跳接线套件），或者在 eBay 上找“面包板线”。见图 2-9。

转接线

转接线并非必不可少，可以带来很大的方便。你需要的不是端部都有一个插头的音频线或视频线。你需要的是两端有弹簧夹的那种导线，有时也称作“测试引线”。试试 Digi-Key 公司目录中的 461-1176-ND，或 All Electronics 公司目录中的 MTL-10。见图 2-10。

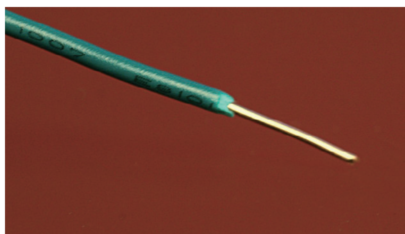


图 2-7　22 号或 24 号线规的实心导线适合本章的大多数实验

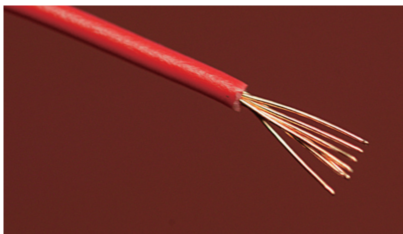


图 2-8　多股线更加柔软，但是在面包板上难于使用



图 2-9　预先剪好、端部绝缘剥掉的导线可以节省大量时间，也省却很多麻烦——如果你不介意多用些钱的话

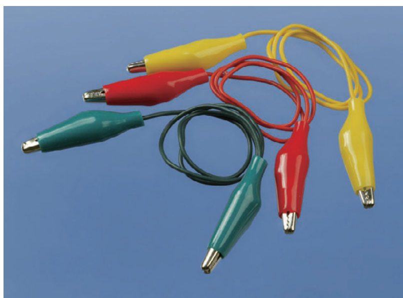


图 2-10　转接线，有时也称测试引线，由两端接有弹簧夹的导线构成。这是业余电子实验中可以减少问题的一种小奢侈品

元件

按钮

短暂闭合的按钮，要单刀单掷的，有时也称作 OFF-(ON) 型或 (ON)-OFF 型，必须是印制电路板或印制电路上可安装的，即应该是特别小的那种，在它的底部具有细针式的触点。数量：1 个。见

图 2-11。

如 NKK 公司的 AB11AP，Alco-switch 公司的 MPA103B04，或 C&K 公司的 EP11SD1CBE。如果有多种选择，请买最便宜的，因为我们需要开关的电流特别小。

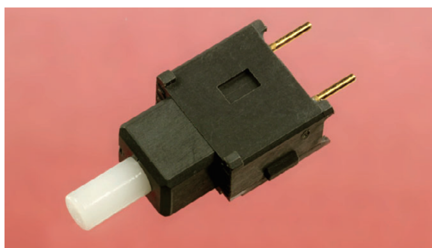


图 2-11　这是一个微型按钮，突出的端子的间隔是 0.2 in，正好适合于你将使用的面包板

开关

拨动开关，单刀双掷（SPDT），有时也称做 ON-ON 型。数量：2 个。见图 2-12。

NKK 生产的 S302T-RO 就很理想，它具有螺丝端子，就不再需要弹簧夹了。其他的选择有 All Electronics 公司的 MTS-4PC，或 RadioShack 公司的 275-603。



图 2-12　这是 NKK 公司生产的一种相对较大的拨动开关，它具有螺丝端子，便于连接到跳接线上

我们既不开关大电流，也不开关高电压，因此开关的精确型号并不重要。不过，大型开关上的端子间距很宽，比较容易操作。

继电器

双刀双掷的，要求无闩锁的，12 V 直流。数量：2 个。

必须使用正确类型的继电器，这点很重要——我会使用配置与图片相符的继电器。如富士通公司的 FTR-F1CA012V 或 FTRF1CD012V，欧姆龙公司的 G2RL-24-DC12，或 Tyco 公司的 OMI-SH-212D。要避免使用替代产品。

电位器

1 MΩ 的线性电位器，可以用 RadioShack 公司的 271-211，Jameco 公司的 24N-1M-15R-R，或其他类似的产品。

晶体管

常用的 NPN 型晶体管，例如 STMicroelectronics 公司的 2N2222，仙童公司的 PN2222，或 RadioShack 公司的 2N2222。数量：4 个。见

图 2-13。

安森美公司或摩托罗拉公司制造的可编程单结晶体管 2N6027。数量：4 个。

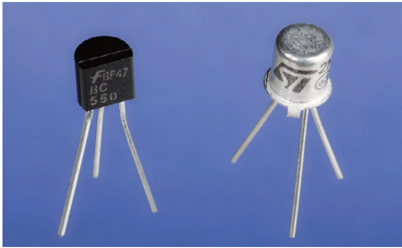


图 2-13　晶体管通常装在小金属罐中或封在小塑料格子中出售。对于我们来讲，无论哪种包装都没有差别

电容器

电解电容套件。标称电压最小必须为 25 V，其中至少有一个电容器是 1 000 μF 的。如果在 eBuy 上搜索，请确保找的是**电解**电容。如果额定电压更高不会有什么问题，但它们个头将比你所需要的大些。见图 2-14。



图 2-14　电解电容套装

陶瓷电容套件。确保其中至少有一个是标称 0.004 7 μF 的（也可以写成 4.7 nF）。见图 2-15。

电阻器

如果你之前只购买了实验 1 到实验 5 所需的最小数量的元件，那么现在你就需要去购买一个较大的套装包了，免得因为缺少某个阻值的电阻器而使实验卡壳。要求最小 0.25 W 的。

扬声器

任何 8 Ω、1 in 的扬声器都可以，例如 RadioShack 公司的 273-092。见图 2-16。

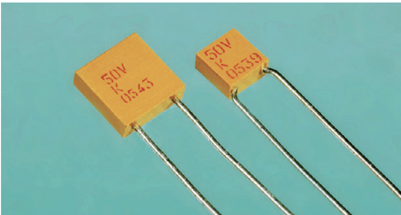


图 2-15　陶瓷电容器大多都像这个样子，只不过有很多是圆形或面包形，而不是这样的方形。对于我们来讲，何种包装并不重要


图 2-16　这个小型扬声器的直径正好 1 in 多点，对于验证直接从晶体管电路输出的音频信号很有用

实验 6　极简单的开关

以下是需要的东西。

- ❒ AA 电池，数量：2 节。
- ❒ 装 2 节 AA 电池的电池盒，数量：1 个。
- ❒ LED，数量：1 个。
- ❒ 拨动开关，单刀双掷的，数量：2 个。见图 2-12。
- ❒ 220 Ω 或类似阻值的电阻器，最小 0.25 W，数量：1 个。
- ❒ 弹簧夹，数量：8 个。
- ❒ 导线或转接线，见图 2-10。
- ❒ 钢丝钳、剥线器（如果你不使用转接线的话），见图 2-4。

在实验 3 中，你已经通过将 LED 连接到一节电池上而使 LED 点亮，并通过移除电池来使其关闭。为了更方便，我们的电路需要用适当的开关来控制电源。当我介绍开关的一般性内容时，我将探讨各种开关，并针对实验电路提出一些可能的应用。

如图 2-17 和图 2-18 那样组装元件。LED 的长引线必须连接到电阻器，因为这是电路电位更高的一侧。

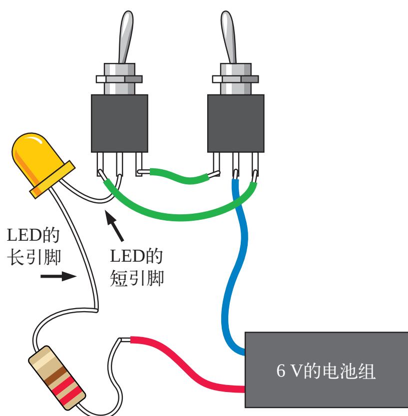


图 2-17　如果 LED 是亮的，拨动任何一个开关都将使其关闭。如果 LED 是暗的，拨动任何一个开关都将使其点亮。用弹簧夹将导线接在一起，再接到开关上（如果你的开关没有螺丝端子的话）。注意不要让夹子碰到一起

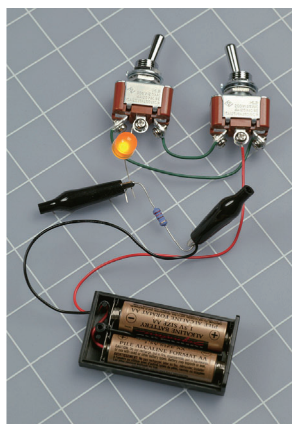


图 2-18　采用带有螺丝端子的大尺寸拨动开关，使这个简单电路的连接变得十分容易

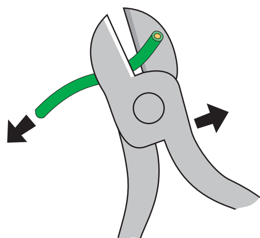
你会发现不得不添加几段导线。我建议你使用绿色的线，以提醒你这些导线段既没有连接到电源的正极，也没有连接到电源的负极。不过你也可以使用你喜欢的任何颜色。你也可以用转接线来替换（如果你有的话）。学会从导线上剥掉绝缘层是一种必要的技能，下面我们就来学习这个技能。



图 2-19　在使用自动剥线器的过程中，当你按压手柄时，左侧的钳夹会夹住导线，右侧的尖锐沟槽则会咬入绝缘层中。再用更大的力气按压手柄，左右两边的钳夹会分离，从而将绝缘层从导线上剥离

工具

如果自动剥线器（图 2-19）不能有效地剥除 22 号线规导线的绝缘层，请试试前面图 2-4 中所示的 Ideal 牌的剥线器，或者图 2-20 所示



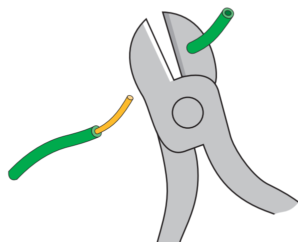


图 2-20　为了去掉细线端部的绝缘层，也可以使用钢丝钳。这需要一点训练





图 2-21　那些倾向于乱放工具的人，在为寻找工具而感到十分不耐烦的时候，可能会尝试用牙齿来剥去导线的绝缘层，这可不好

简单、普通的钢丝钳。当使用钢丝钳时，你要一只手握紧导线，另一只手使用工具，按压手柄的力道要恰到好处——正好咬入绝缘层而不能用力过大以致把导线剪断。在你往上拉钢丝钳的同时，往下拉导线。经过一些练习之后，你就可以剥掉绝缘层使导线的端部暴露出来。

豪放的硬件高手可能会使用他们的牙齿来剥去导线的绝缘层。如图 2-21 所示。我年轻的时候，就常常这样做，有两颗稍微有点缺口的牙齿可以替我作证。说实话，真应该使用正确的工具来干这个活儿。

连接问题

受你所用拨动开关大小的影响，你也许会遇到如何才能将所有的弹簧夹放置到位，以便将导线连接在一起的麻烦。如今微型拨动开关比大尺寸的拨动开关更为常见，这点特别烦人（见图 2-22）。请耐心点，很快我们就将使用面包板，这几乎可以完全避免使用弹簧夹。

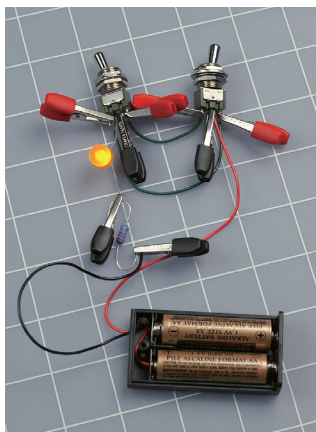


图 2-22 可以使用微型拨动开关（与微型弹簧夹一起使用就很理想），不过要注意避免短路

测试

请确保将 LED 的长引脚连接到电源的正端（在这里是电阻器的一端）。现在拨动任何一个开关。如果 LED 原来是亮的，它将熄灭；如果原来是熄灭的，那么它将点亮。拨动另一个开关，会有同样的效果。如果 LED 根本就没有点亮，那么你也许接错了方向。另一种可能就是你的某两个弹簧夹可能把电池短路了。

假定你的两个开关已经能够像我描述的那样工作了，那这里面到底是怎么回事呢？现在是了解基础知识的时候了。

基础知识

开关

当你拨动实验 6 中使用的拨动开关时，它将把中心端子连接到两个外侧端子中的一个。将开关拨向另一端，它将把中心端子连接

到另一个外侧端子，如图 2-23 所示。

中心端子称作开关的刀（或极）。由于你可以拨动这个开关到两种可能的连接，因此它被称作**双掷开关**。前面曾经提到，单刀双掷开关缩写为 SPDT。

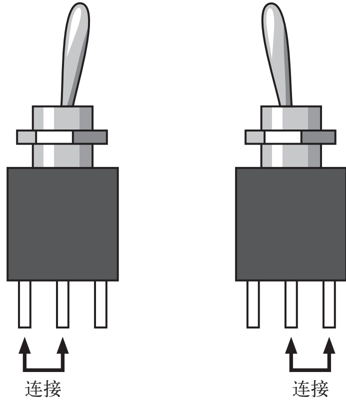


图 2-23　中心端子是开关的“刀”（或称“极”）。当你拨动拉杆时，刀就会改变其连接对象

有些开关是开/关型的，意即当你将它们掷向一侧时，它会建立一个连接，而掷向另外一侧时，它根本不建立任何连接。你家中的大多数电灯开关都是这种类型。它们被称作**单掷开关**。单刀单掷开关缩写为 SPST。

有些开关有两个完全分离的中心接线柱（两个刀或极），因此，当你拨动开关时，可以同时建立两个分开的连接。这种开关称作**双刀开关**。看看从图 2-24 到图 2-26 所示的老式刀闸开关的照片（在学校里教小孩子电子学时，仍然在用这种开关），你将看到单刀和双刀、单掷和双掷的最简单表示符号。图 2-27 所示为几种触点封装在内部的拨动开关。

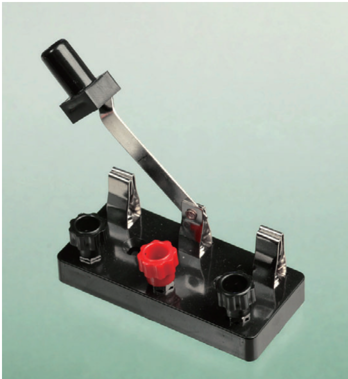


图 2-24　这个原始的单刀双掷开关与图 2-23 以及图 2-27 中的拨动开关具有完全相同的功能



图 2-25　单刀单掷开关只有一个刀，只能建立一个连接。它的两个状态仅仅是打开和闭合，或通与断



图 2-26　双刀单掷开关建立两个独立的通 / 断连接



图 2-27　这些都是拨动开关。一般来讲，开关越大，能够处理的电流就越多

为了让东西做得更有趣，你也可以购买拥有 3 刀或 4 刀的开关（有些旋转开关拥有更多的刀，但我们不会用到）。此外，有些双掷开关有一个附加的“中央断开”位置。

结合上述介绍，我对可能的开关类型做了个总结（图 2-28）。阅读元件清单时，你可以查这个表来提醒自己各种开关缩略语的意义。

	单刀	双刀	3刀	4刀
单掷	SPST 通–断	DPST 通–断	3PST 通–断	4PST 通–断
双掷	SPDT 通–通	DPDT 通–通	3PDT 通–通	4PDT 通–通
带中心开路的双掷	SPDT 通–断–通	DPDT 通–断–通	3PDT 通–断–通	4PDT 通–断–通

图 2-28　这个表总结了拨动开关以及按钮的所有种类

那么按钮的情况又怎样呢？当你按门铃时，你就是在建立一个电气连接，所以这也是一种开关类型——它们的正确名称应该是短暂开关，因为它们只建立一个短暂的连接。任何弹簧加载的开关，

或需要跳回到原有位置的按钮都称作短暂开关。为了指明这一点，我们将其短暂状态用括号括起来。下面是一些例子。

(1) OFF-(ON)：由于ON状态在括号中，所以ON就是短暂状态。这是一种单刀开关，它只在你按压时才建立连接，当你放开时，它又回复原状，断开连接。这也称作“常开”短暂开关，缩写为“NO”。

(2) ON-(OFF)：与上面相反的短暂单刀开关。它的正常状态是ON，但当你按压时，连接就断开了，所以OFF状态是短暂状态。它被称作“常闭”短暂开关，简写为“NC”。

(3) (ON)-OFF-(ON)：这个开关具有一个中心断开位置。无论你往哪个方向按压，都将建立一个短暂的连接，而当你放开时，它又将回复到中心断开的状态。

其他的形式也是可能的，例如ON-OFF-(ON)、ON-(ON)等。只要你记住括号中的状态表示短暂状态，你就能够弄明白这些开关是干什么的。图2-29就显示出了单刀双掷开关的便利性。

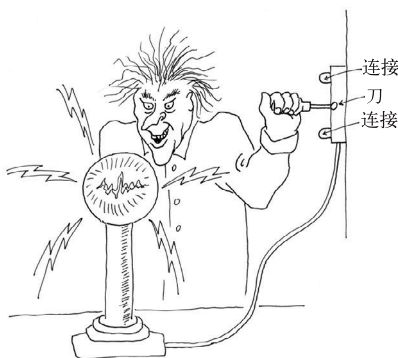


图2-29 这个**疯狂科学家**正在准备给它的实验加电。为此，它使用了一个单刀双掷的刀闸开关，很便利地安装在他的地下实验室的墙上

火花

当你建立或断开一个电气连接时，有产生火花的倾向，这对开关的接触很不好。火花将吞食开关，直到开关不再形成可

靠连接为止。由于这个原因，你必须使用恰当的开关，它应该能够应对你的电压和电流。电子电路通常是低电流、低电压的，因此你几乎可以使用任何开关。但如果你要开关的是一个电机，那么流经它的初始冲击电流起码是恒速运行时额定电流的两倍。因此你也许需要用一个 4 A 的开关来控制一个 2 A 的电机。

开关的检测

可以用万用表来检测开关。这可以在开关倒向一边或另一边时，帮助你确定到底哪个触点是接通的。这对于按钮的判断也很有用，当你记不清一个按钮到底是常开（你按压它来建立连接）还是常闭（你按压它来断开连接）的时候，就需要检测。将万用表设置在欧姆档，将探针接到开关的端子上，同时操作开关，来进行检测。

不过这样测量有点麻烦，因为你必须等待万用表做出精确的测量。其实，当你只想知道是否存在连接时，你可以使用万用表的**连续性测试器**的设置。如果它发现连接，它将嘟嘟响；若没有发现连接，它就一声不响。图 2-30、图 2-31 和图 2-32 是万用表设置成连续性测试的例子。图 2-33 是测试拨动开关连续性的一个例子。

> 只有当电路或元件没有加电时，才能使用万用表上的连续性测试功能。



图　2-30



图　2-31



图 2-32　在检测电路的连续性时，将你的万用表的拨盘拨到相应符号所示的位置。只有当元件或电路没有电时，才能使用这个功能



图 2-33　当开关使其两个端子相连时，如果你已经将万用表设置在连续性测试状态，那么万用表将显示端子之间的电阻为零，并发出嘟嘟的响声

背景知识

早期的开关系统

对于我们的世界来讲，开关似乎是极其基本的一个特征，并且它们的概念是如此的简单，以至于人们容易忘记它们也曾经历了一个逐步发展和改良的过程。原始的刀闸开关对于电的开拓者们来讲是相当合适的，他们只是需要简单地把电接入到实验室中的某个设备或者从其设备中断开。但是当电话系统开始激增的时候，人们需要更为成熟、精密的开关方法。尤其是，开关板旁的电话接线员需要一个方法来连接板上 10 000 线电话中的任何一对线。这如何才能做到呢？

1878 年，查尔斯 • E. 斯克里布纳（图 2-34）开发出了“折刀开关”，之所以这样称呼，是因为接线员手握的那部分像一把折刀的手柄。突出部分是一个插头，当插头压入一个插孔时，在插孔的内部就建立起连接。事实上插孔就是开关。

吉他及放大器等的音频接头仍然靠同样的原理工作，我们称其为“jacks”，这个术语其实就来源于斯克里布纳的发明。在插座内

部仍然包含开关触点。

当然，如今电话开关板已经像电话接线员一样稀少了。首先，它们被继电器——电动开关（这将在本章稍后介绍）——取代了。后来，继电器又被晶体管——它无需任何运动部件但却可以使任何事情发生——代替了。在本章结束的时候，你将使用晶体管来切换电流。



图 2-34　查尔斯 • E. 斯克里布纳在 19 世纪后期发明了“折刀开关”来满足电话系统切换的需要。今天的音频接口仍然使用同样的方法①

电路原理图介绍

所有原理图以及面包板照片的大尺寸版本都可以在本书的网站上得到，网址是http://oreilly.com/catalog/9780596153748。

在图 2-35 中，我利用称作**电路原理图**的简化方式重画了实验 6 的电路。从现在开始，我将用电路原理图来说明电路，因为它们使得电路更加容易理解。你只需掌握一些符号就可以解释电路原理图。

比较图 2-35 和图 2-17 可知，两个图显示的是完全一样的东西：元件，以及元件之间的连接。在电路原理图中，灰色的矩形是开关，锯齿形的东西是电阻器，沿对角线方向画有两个箭头的符号是 LED。

电路原理图中 LED 符号的两个箭头，表示它能够发光，以区别于其他不发光的二极管（这些二极管将在稍后介绍）。二极管符号内部的三角形总是从正指向负的。

跟踪电路中电流可以流通的路径，并想象开关被切换到一边或者另外一边。现在你应该可以清楚地看到，为什么其中任何一个开关都可以

① 这幅画像所依据的照片最早见于 1910 年由芝加哥的 A. C. McClurg & Co. 公司出版的赫伯特 • 牛顿 • 卡森所写的《电话的历史》一书。

使 LED 的状态发生从通到断（或从断到通）的变换了。

这个电路在家庭中十分常用，例如在楼梯的底部装一个开关，在顶部装一个开关，让两个开关控制同一个灯泡，用的就是这个电路。房子里的导线要长得多，迂回布局在墙体内，不过由于连接方式仍然是相同的，因此可以用同样的电路原理图来表示。见图 2-36。

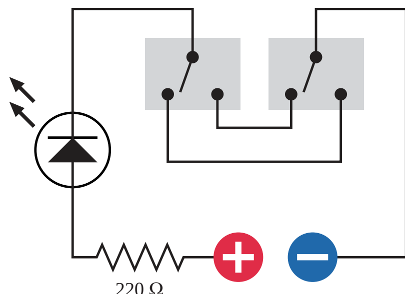


图 2-35 这个电路原理图跟图 2-17 显示的是同一个电路，不过它更容易看出开关的作用

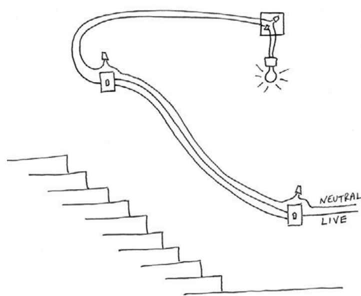


图 2-36 图 2-17 及图 2-35 所示两开关的电路常见于家庭布线中，尤其是当开关位于楼梯顶部和底部的时候。这个草图绘出了你可能在墙内发现的布线情况。其中的导线是用盒子中的“螺帽端子”来连接的，隐藏在通常看不到的地方

电路原理图并不会告诉你在元件要确切放置的地方，它只告诉你如何将元件连接起来。这就出现了一个问题：不同的人可能会使用略有差别的电路原理图符号来表示同一样东西。为此，请参考“基础知识：基本的电路原理图符号”来做更深入的了解。

基础知识

基本的电路原理图符号

电路原理图的符号就像一种语言的单词一样：在长期的使用过程中，它们变异出了许多让人混淆的变种。例如，一个简单的 ON/OFF（单刀单掷，SPST）开关，就可以用图 2-37 所示的任何一个符号来表示。它们都表示同一个东西。

图 2-38 所示为双刀双掷开关的表示符号。符号中的虚线表示开关内的机械连接，因此当你翻转开关时，你将同时影响这两把刀。请记住，刀与刀之间在电气上是彼此绝缘的。

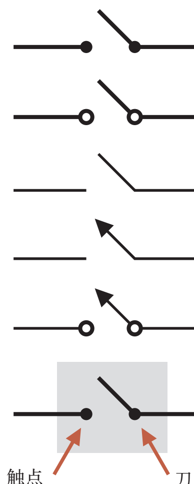


图 2-37　符号的变种：在电路原理图中，用不同式样的符号来表示单刀单掷开关。本书采用最下面的版本

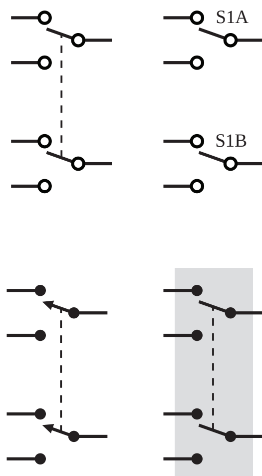


图 2-38　更多的变种实例：表示双刀双掷开关的一些符号样式。本书使用右下角的符号

偶尔你会看到电路原理图中的开关似乎是沿着四周散布的，不过它们的标识方式（譬如 S1A、S1B、S1C 等）会告诉我们，这其实只是同一个开关的多个刀而已。

在本书的电路原理图中，我将为每个开关设置灰色矩形底纹。这个灰色矩形并不是标准的符号，你在其他的书中是看不到的。我这样做的目的只是想提醒你，里面的所有部件都是包含在同一个外壳中的。

在电路原理图中，有一个很重要的式样变种，就是导线是否彼此相连的表示方法。老式的电路原理图在表示一根导线与另一根导线相交叉而没有连接时，往往在交叉处将其中一根导线显示成一个小小的半圆形的隆起。由于现代的电路绘制软件不能生成这种样式的电路原理图，因此这种表示方法已经不再常用了。如果你在线浏览电路原理图的话，应该可以发现，导线交叉的现代表示方式可以归纳如下。

- 汇合两根导线的圆点表示一个电气连接。
- 没有圆点则表示没有电气连接。

问题是这种表示方法不是很直观，尤其是当你刚开始使用电路原理图的时候。当你看到两条导线交叉时，即使在交叉处没有圆点，你也很容易以为它们是连接在一起的。因此，为了清楚起见，在本书中我选择使用电路原理图的老式版本，即“半圆形隆起”的形式来表示交叉连接（见图 2-39）。这种样式可以归纳如下。

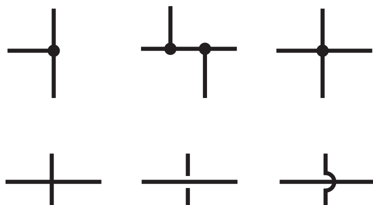


图 2-39　在接线原理图中，一个圆点总表示一个电气连接。然而，右上方导线的十字形交叉是一种十分不良的表示方法，因为如果这个圆点不小心忘记画了或印制不清楚，那么这个交叉就会被误以为是左下角这种代表没有连接的式样。下面一行的 3 种样式都表示没有连接，第一个样式最为常用，中间的样式用得最少。右边的样式最为古老，然而为了清楚起见，本书使用这个样式

- 汇合两根导线的圆点表示一个电气连接。
- 当与另一导线交叉时，导线上为“半圆形隆起”表示没有连接。

在本书中，你找不到既没有圆点又没有隆起的导线交叉。

在电池供电的电路中，你可以找到电池的符号，不过在更多的情况下，你将看到一个小注释，指明正电压从哪里进入系统，而负端则用一个表示“接地”的符号来指明。事实上，电路原理图中可能到处都是接地符号。你必须记住，当你搭建电路的时候，所有引向地的导线实际上都必须连接在一起，连到电源的负端。

接地符号的应用可以追溯到将电子设备安装在金属底板上的时代（金属底板是接在电源负端的）。接地符号实际上意味着**连接到底板**。图 2-40 绘出了接地符号的一些变种。

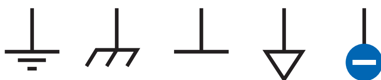


图 2-40　所有这些符号都表示同一件事情：将导线连接到“地”、“底板”或者电源的负端。本书使用最右端的符号

由于本书采用全彩色印刷，因此我把正端显示为红色，把负端显示为蓝色，以清楚地显示电源连接的地方，这样一来，就不再使用通常的接地符号。重申一下，我这样做的目的是为了使误解的风险最小，因为我最清楚，若搭建的电路不能正常工作，那将是多么令人恼火啊。

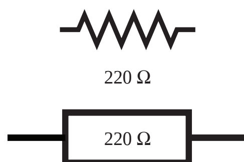


图 2-41　这是 220 Ω 电阻器的两种样式。上面的是传统的样式，但在美国仍然广泛使用。下面的是欧洲的样式

电路原理图中有一个很大的不一致，就是电阻器的表示方法。传统的锯齿符号表示法在欧洲已经被抛弃。取而代之的是一个矩形，并在里面标上阻值来表示电阻器。见图 2-41。欧洲人也改变了十进制小数点的表示方法：他们尽可能省去小数点，因为在印刷不清楚的电路原理图中，小小的圆点往往容易丢失（或者与灰尘、污垢相混淆）。因此，他们将 4.7 kΩ 的电阻器列写为 4K7，将 1.2 MΩ 的电阻器列写为 1M2。我喜欢这种表示方法，因此我自己也将使用这种表示方法，不过由于锯齿形的电阻器符号在美国仍然广泛使用，所以本书仍然使用锯齿形的电阻器符号。

电位器符号的样式在美欧之间也存在着同样的不一致，不过无论哪种样式，你都会看到有一个箭头指明滑动片（通常是中央端子）接触电阻的位置，见图 2-42。图 2-43、图 2-44 和图 2-45 给出了按钮开关、电池和白炽灯的符号。有时你会看到 LED 被画在一个圆圈内，有时又没有。我个人喜欢有圆圈的，见图 2-46。

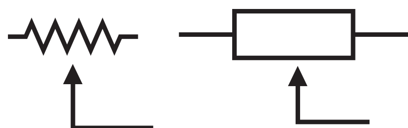


图 2-42　电位器符号：左图是传统的样式，在美国这么用；右图是欧洲的样式。在这两个样式中，箭头都表示滑动片（通常是中央端子）

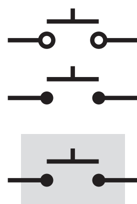


图 2-43　按钮开关符号的 3 种样式

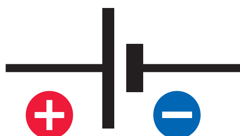


图 2-44　电池符号通常不会显示正号和负号。为了清楚起见，我加入了正、负号

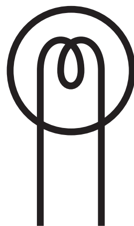


图 2-45　白炽灯的符号

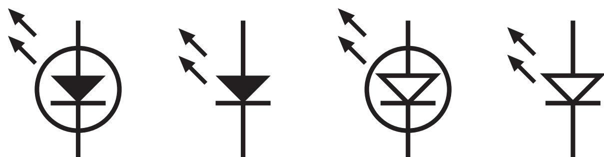


图 2-46 有时 LED 显示为带圆圈的符号，有时又没有。在本书中，我使用带圆圈的符号来表示 LED，其中的箭头表示发光

在本书的后面，我还将介绍其他一些符号变种，同时，我们要记住的最重要的几点如下。

- 电路原理图中元件的位置并不重要。
- 电路原理图中所用符号的样式并不重要。
- 特别重要的是元件之间的连接方式。

例如，图 2-47 给出的 3 个 LED 电路中元件的位置不同，元件表示符号也不同，但这 3 个电路具有完全相同的功能，因为它们的连接是相同的。实际上，它们绘出的都是你在实验 4 中搭建的电路（图 1-50）。

通常，电路原理图中符号的放置原则是使电路直观易懂，而不管你如何用实际的元件来搭建这个电路。对比图 2-48 的例子（显示了两个双刀双掷开关）与图 2-35 中显示的版本，可以看出，以前的

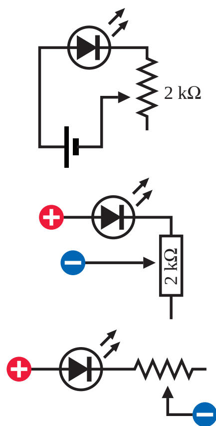


图 2-47 这 3 个电路原理图绘制的是同一个基本电路，它就是你在实验 4 中用电位器搭建的电路

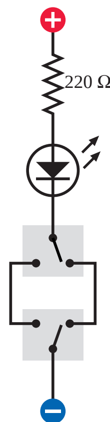


图 2-48 这个电路原理图只是图 2-35 所示电路的另一个更加清楚、更加简单的表示

图看起来更像你在实验桌上做出来的版本，而图 2-48 则更清楚地显示了电流的流向。

在许多电路原理图中，电源的正端显示在图的顶部，负端或地显示在底部。在画电路原理图时，许多人喜欢将输入（譬如放大器电路中的音频输入）画在左侧，而将输出画在右侧。因此，“正电压”从顶部流向底部，而信号则从左侧流向右侧。

我在规划本书的时候，开始也遵从这个从上到下、从左到右的惯例来绘制电路原理图，但当我开始搭建和调试电路时，我改变了主意。因为我们使用称作“面包板”的设备来搭建电路，它的内部连接要求我们以完全不同于一般电路原理图的方式来布置元件。在你初学电气电子学时，要对一个电路原理图中的元件位置重新布置，来满足面包板的要求，这将是一件令人十分头疼的事情。

因此，你将发现本书从头到尾的电路原理图都是仿照面包板上布线的情况来绘制的。我相信这样做的优点要比其缺点多得多，其缺点无非是与其他地方的电路原理图样式有一点点不同而已。

实验 7　继电器驱动的 LED

以下是你所需要的东西。

- AC 适配器、钢丝钳、剥线器。
- 双刀双掷（DPDT）继电器，数量：2 个。
- LED，数量：2 个。
- 电阻器，约 680 Ω，数量：1 个。
- 按钮，单刀单掷的（SPST），数量：1 个。
- 连接线，22 号线规或转接线。
- 弹簧夹。数量：8 个。
- 多用刀。

我们探索开关的下一个步骤是使用遥控开关。所谓“遥控”开关，我的意思是指可以发送一个信号来开通或断开的开关。这种开关称作**继电器**，因为它将指令从电路的一部分传递（或中继）到另一部分。通常，继电器由低电压或小电流来控制，去开关较高的电压或较大的电流。

这种装置十分经济。例如，当启动汽车时，一个较小、便宜的开关沿着一条相对细长、便宜的导线将一个小信号发送到位于汽车发动机旁的继电器。继电器则通过一根较短、较粗、更加昂贵、可以承载高达 100 A 电流的导线，来启动汽车发动机。

类似地，当上开门的洗衣机正在甩干衣服时，你若揭起它的盖子，洗衣机就闭合了一个小开关，它将沿着一根细线发送一个信号到一个继电器。继电器则将完成一个更大的任务，就是断开大电机，不再去转动那个装满湿衣服的洗衣桶。

在开始本次的实验之前，你需要升级你的电源。我们不再使用电池，因为大多数的继电器都需要高于 6 V 的电压，无论如何，你都需要一个根据你的需要来提供多种电压的电源。满足这个要求的最简单办法是使用交流适配器。

首先你需要设置交流适配器。当你使其运行之后，你将用它来为继电器提供电源。最初继电器将只在两个 LED 之间进行切换，但随后你需要改进电路，使 LED 自动闪光。最后你需要在面包板上重建电路，并不再使用弹簧夹（至少是在大部分的时间里不再使用）。

准备交流适配器

交流适配器插在墙上，将家里面的高压交流电源转换成安全的、低电压的 DC（直流）电压，为电子设备提供电源。你的移动电话、iPod 或笔记本电脑等的充电器都是专用的交流适配器，它们通过专用的插头仅仅能发出一种电压。我已经要求你购买一个通用适配器，它可以输出多种不同的电压，我们先去掉它的插头。

(1) 很重要的是，确保你的交流适配器没有插在墙上！

(2) 剪掉连线端部的那个小插头。见图 2-49。



图 2-49　准备一个交流适配器。首先剪掉这个小的低电压插头并扔掉

(3) 使用裁纸刀、多用刀或者剪刀在两

根导线之间开一个 0.5 in 的切口，然后将两根导线拉开 2 ～ 3 in。

(4) 用钢丝钳将其中一根导线剪短一点，以便在你剥除导线的绝缘层之后，两根导线的暴露部分不易碰到一起。这是一个防止交流适配器短路烧毁的预防措施。

(5) 使用剥线器剥去两根导线端部的绝缘层。用大拇指和其他手指一起搓一搓铜股线，以防止有松散的铜丝冒出来。见图 2-50。



图 2-50　其次，剥掉线的绝缘层，确保两根线中的一根比另一根短点儿，以降低彼此碰在一起的危险。在适配器的正导线上做一个红色的标记

(6) 确保两根线没有碰在一起，然后将交流适配器插入墙上的插座。将你的万用表设置在 DC 档，将金属探针接在适配器的导线上。如果电压前面有一个负号，那么说明探针接反了方向。交换探针，负号就将消失。这将告诉你哪根线是正的。

(7) 标记好适配器的正导线。如果导线具有白色绝缘层，你可以在上面做上红色的标记。如果绝缘层是黑色的，你可以在上面贴上标签。无论你将交流适配器插在墙上的哪个插座，正的导线总是正的。

继电器

我要你使用的继电器在底部有小尖针一样的腿，按标准分布。如果你买到的是其他种类的继电器，就不得不自己找出哪些引脚是连接到内部线圈的，哪些引脚是连接到开关内部的刀的，哪些引脚是连接到常闭触点、常开触点的。为此你可以查阅制造商的参数说明书，但我还是强烈建议你使用一个在购买清单上列出的继电器，以便你能够更容易地遵从这里的指示。

我要求你买两个继电器，以便你可以将其中的一个用作研究，即打开它看看里面是什么（图 2-51）。如果你十分小心地去做的话，那么这个继电器以后应该还是可以使用的。如果不能用的话也没有关系，你还有一个备用。

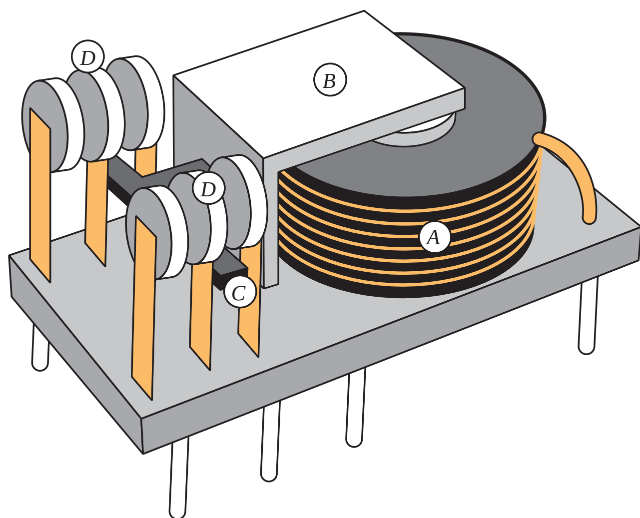


图 2-51 这是继电器内部部件的一种布置方法。线圈 *A* 产生一个磁拉力，将控制杆 *B* 往下拉。从 *B* 上延伸出来的一个塑料件 *C* 往外压迫弹性金属条，并在继电器的触点之间移动继电器的刀 *D*

打开继电器的最简单的方法是使用裁纸刀或多用刀。图 2-52、图 2-53 和图 2-54 展示了这一技术。首先削去继电器的塑料外壳的边，斜着磨削直到你看到一条头发丝细的缝隙为止。不要再往下削了，里面的部件是十分靠近外壳的。然后弄掉顶盖。你可以用针鼻钳把外壳的其余部分咬掉。打开继电器一定要极其小心，避免像图 2-55 和图 2-56 那样，为满足一时冲动而出现不可预测的结果。



图 2-52 为了看到封闭的继电器内部，请用多用刀刮削塑料外壳的顶边，直到打开一条细缝为止

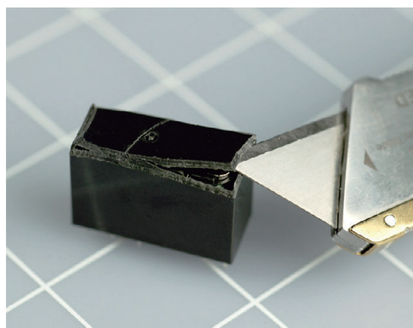


图 2-53 插入多用刀的刀片，撬开顶部，然后针对侧面做同样的事情

图 2-57 给出了 4 个 12 V 的继电器，前面的是没有外壳的，后面的是有外壳的。汽车继电器（最左边的）是最简单、最容易理解的，因为它的设计无需对封装的体积做太多的考虑。较小的继电器设计更为精巧、复杂，其工作过程也更加难于理解。通常（但并不总是这样），和较大的继电器相比，较小的继电器能够开关的电流比较小。阅读“基础知识：继电器详解”，然后给继电器加电，看看它是如何工作的。

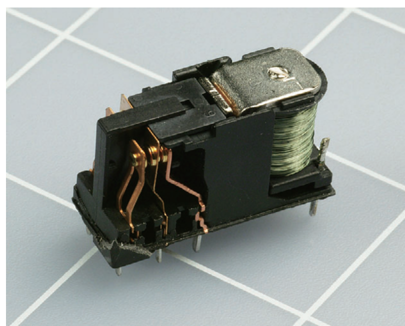


图 2-54　如果你极其小心，那么这个继电器在打开之后应该还可以工作

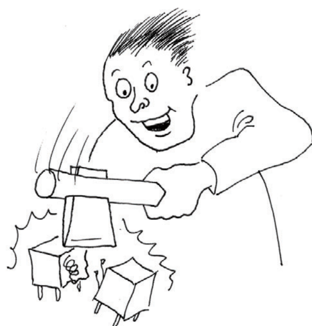


图　2-55



图 2-56　在刮削继电器的菱边以打开继电器时，耐心是极其重要的。快速的方法（如斧头劈开或火焰烧开）都只能满足一时的冲动需要，但结果却是不可预测的

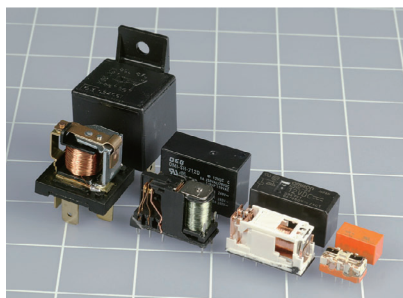


图 2-57　4 个 12 V 的继电器

基础知识

继电器详解

继电器中有一个线圈，绕在一个铁芯上面。当电流通过线圈时，铁芯产生出一个磁力，它拉动一个控制杆，后者又压迫或者拉动一

个弹性金属条，从而闭合两个触点。因此只要有电流通过线圈，继电器就是**激磁的**，它的触点就保持闭合。

当线圈停止通电时，继电器就放开控制杆，弹性金属条返回到原来的位置，使触点断开（闩锁继电器除外，它需要第二个电流脉冲通过另一个独立的线圈来使触点回复到原位，我们在本书较后面才使用闩锁继电器）。

继电器是像开关一样进行分类的。因此，我们有单刀单掷继电器、双刀单掷继电器、单刀双掷继电器等。

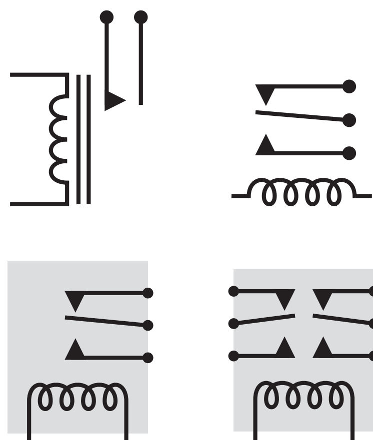


图 2-58　在电路原理图中表示继电器的各种方法。左上图为单刀单掷继电器。右上图和左下图为单刀双掷继电器。右下图为双刀双掷继电器。本书将使用左上图及右下图的表示风格。

比较图 2-58 中的电路原理图和图 2-38 中开关的电路原理图，可以看到它们的主要差别在于继电器中有线圈来操作开关。继电器中的开关显示在“释放”模式，即没有电流通过线圈时的状态。触点被显示成小三角形。当有两个刀而不是一个刀的时候，线圈将同时开通两个开关。

大多数继电器是无极性的，也就是说无论你让电流在线圈中沿哪个方向流通，继电器都无所谓。不过你还是应该查看参数说明书来确保万无一失。有些继电器的线圈工作于交流电压，但大多数的低电压继电器采用直流（DC）——一种恒定的电流，例如从电池获得的电流。本书将使用直流继电器。

继电器具有跟开关一样的局限性：如果你试图开关太高的电压，它们的触点都会因火花而受到侵蚀。为了省几块钱而去购买额定电压或电流低于实际需要的继电器是不值得的。那样的话，在你最需要它的时候，它可能会让你失望，并且它可能还不方便更换。

由于继电器的种类如此繁多，请你在购买之前仔细阅读参数说

明书。尤其是寻找以下的基本参数。

线圈电压

给继电器通电时，继电器应该承受的电压。

闭合电压

继电器闭合其开关所需的最小电压。这将比理想的线圈电压稍低。

工作电流

当继电器激磁时，线圈消耗的电力，通常用毫安计算。有时电力用毫瓦表示。

开关容量

继电器内的触点能够开关的最大电流。这通常是在“电阻负载”时确定的容量，也就是带灯泡之类的负载时的容量。如果你使用继电器来开关电机，电机在启动起来之前，将吸收很大的初始冲击电流。在这种情况下，你应该选用定额为电机正常运行电流两倍的继电器。

步骤

翻转继电器，使其引脚朝天，像图 2-59 那样，连上导线、LED 及一个 680 Ω 的电阻器（如果没有所需阻值的电阻器，1 kΩ 的电阻器也可以）。还要连接一个按钮开关（你的按钮开关可能跟图中显示的外观不同，但只要是两个触点在底部的单刀单掷按钮开关，就能与所要求的开关一样工作）。当你按动按钮时，继电器将使第一个 LED 熄灭，第二个 LED 点亮。当你放开按钮时，第一个 LED 亮起，第二个 LED 熄灭。

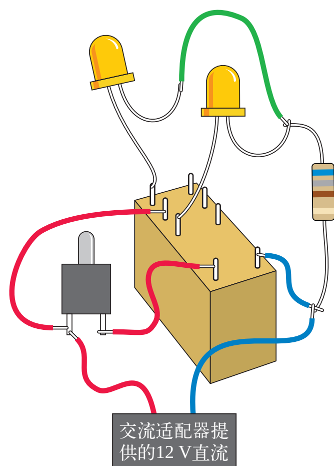


图 2-59　跟以前一样，你可以使用转接线（如果有的话）来代替这里显示的某些导线连接

工作原理

检查图 2-60 中的电路原理图，将其

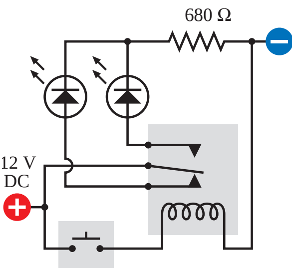


图 2-60 用电路原理图表示的同一个电路

与图 2-59 进行比较。另外请看图 2-61 和图 2-62，图 2-61 给出了继电器引脚的布局，图 2-62 中显示了当线圈激磁、未激磁等两种状态下，继电器外部的引脚在继电器内部是如何连接的。

这是一个双刀双掷继电器，但我们仅仅使用了其中一个刀而忽略了另一个。为什么不购买一个单刀双掷继电器呢？因为这个继电器所具有的引脚间隔正是我们所需要的，很快你就会看到，当你升级这个电路，将其转换到面包板上去的时候，就需要这样的引脚间隔。

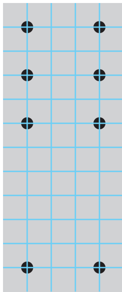


图 2-61 继电器引脚的布局，背景网格是 0.1 in 间隔的方格。实验 8 中需要的就是这种类型的继电器

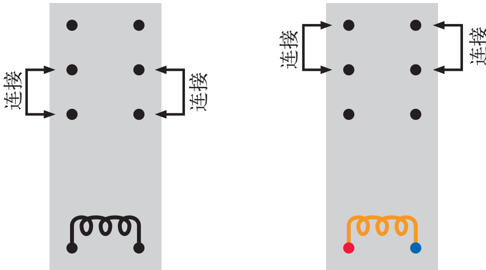


图 2-62 继电器内部对引脚的连接情况：左图为未激磁时的连接；右图为激磁后的连接

在电路原理图上，继电器中的开关显示的是释放状态。当线圈激磁时，开关往上翻转，这似乎是异于直觉的，不过这个特别的继电器就是用来完成这个看似反常的任务的。

当你确信自己已经了解这个电路的工作原理之后，就可以转入下一个步骤：做一点小小的改动，使继电器自己来回地开通和断开自己，这将是实验 8 的任务。

大尺寸版本的电路原理图和面包板照片可以在本书的网站 http://oreilly.com/catalog/9780596153748上找到。

实验 8　继电振荡器

以下是你需要用到的东西。

- ❐ 交流适配器、面包板、导线、钢丝钳和剥线器。
- ❐ 双刀双掷开关，数量：1 个。
- ❐ LED，数量：2 个。
- ❐ 单刀单掷的按钮，数量：1 个。
- ❐ 弹簧夹，数量：1 个。
- ❐ 电阻器，约 680 Ω 的阻值，数量：1 个。
- ❐ 电容器，电解型，1 000 μF，数量：1 个。

看看图 2-63 的电路以及图 2-64 对应的电路原理图，它们是前一个实验电路的修订版本，请注意比较修订前后的差别。在以前的电路中，按钮直接连接到继电器的线圈，而在修订的新电路中，电源在经过按钮以后，要先通过继电器的触点，然后才到线圈。

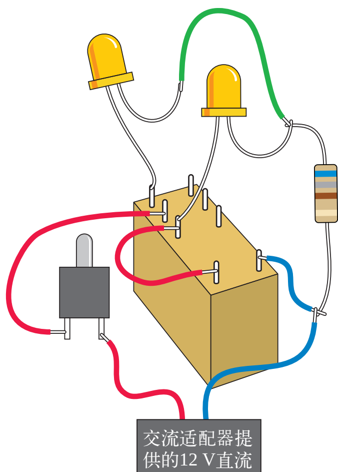


图 2-63　前一个实验电路在经过稍微修订之后，当加上电源时，继电器将开始振荡起来

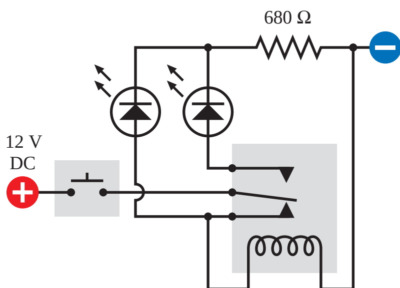


图 2-64　以电路原理图形式表示的振荡电路

现在，当你按下开关时，处于释放状态的触点将电力输送到线圈以及左手侧的 LED。不过一旦线圈得到激磁，它又会使触点断开。这将中断线圈的供电——因而使继电器释放，触点又闭合。这将给线圈提供一个新的电流脉冲，再次打开触点。这个循环将不断进行下去。

由于我们使用的继电器极小，它的开关速度特别快。实际上，它振荡的速度也许达到了 50 次每秒（这对于 LED 来讲是太快了，以致它无法显示实际发生的事情）。请确保你的电路跟图中的一样，然后短暂地按一下按钮。你应该可以听到继电器发出嗡的一声。如果你听力不好，那么可以将手指轻轻接触继电器，你应该可以感觉到继电器的振动。

当你按着这样的方式来迫使继电器振荡时，将有可能烧掉继电器或毁坏它的触点。这就是我让你短暂按压按钮的原因。为了使电路更为实用，我们需要某样东西来使继电器的动作变慢，并防止其自毁。这需要一个电容器。

加入电容

像示意图 2-65 以及电路原理图 2-66 那样，在继电器的线圈两端并联一个 1 000 μF 的电解电容器。如果你不太清楚电容器到底是什么样子，请看看图 2-14。数值 1 000 μF 将印在电容器的侧面，稍后我将解释这个数值的意义。

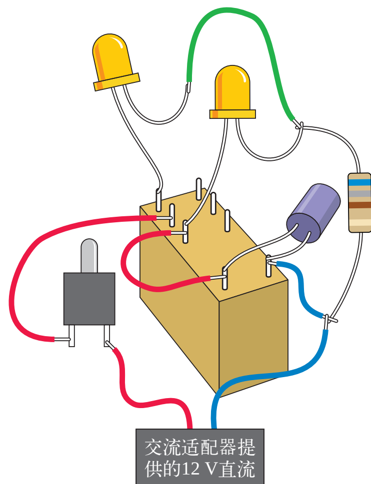


图 2-65 增加一个电容器使继电器振荡变慢

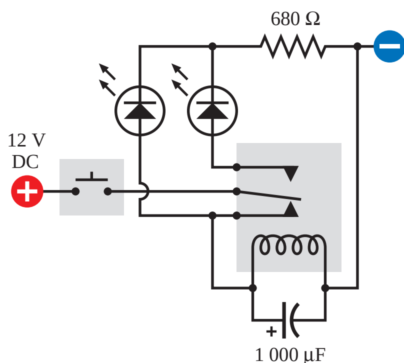


图 2-66 电路原理图底部的是电容器

请确保电容器较短的引脚连接到电路的负的一侧，否则的话，它将不起作用。你应该可以发现，在电容器身上引脚较短的一侧上有一个负号，它是用来告诉你哪侧为负的。电解电容器对这个方向是很在乎的。

现在当你按下开关时，继电器应该是慢慢地嘀嗒嘀嗒，而不是像以前那样吱吱响了。那么这其中到底发生了什么呢？

电容器就像一个微小的可充电电池。它如此微小，以至于它充好电所需的时间不到 1 s，在继电器打开自己下面的一对触点之前，电容器就充好电了。那么，当触点打开后，电容器就像一节电池，给继电器的线圈提供电力。它让继电器的线圈在大约 1 s 内继续保持激磁。当电容器耗尽自己储存的电力后，继电器就进入释放状态，并重复前面的过程。

基础知识

法拉

法拉是国际单位制中测量电容的单位。现代电路通常需要小电容器。因此，看到的电容器往往采用微法（百万分之一法拉）甚至于皮法（一万亿分之一法拉）做单位。也有采用纳法的，欧洲比美国更常用。请看以下的转换表。

0.001 纳法	1 皮法	1 pF
0.01 纳法	10 皮法	10 pF
0.1 纳法	100 皮法	100 pF
1 纳法	1 000 皮法	1 000 pF
0.001 微法	1 纳法	1 nF
0.01 微法	10 纳法	10 nF
0.1 微法	100 纳法	100 nF
1 微法	1 000 纳法	1 000 nF
0.000 001 法拉	1 微法	1 μF
0.000 01 法拉	10 微法	10 μF
0.000 1 法拉	100 微法	100 μF
0.001 法拉	1 000 微法	1 000 μF

（你也许碰得到大于 1 000 μF 的电容，但不常见。）



被电容器电死

如果一个大电容器充上了高电压，它将可以在很长的时间里保持为高电压。由于本书的电路采用低电压，因此你不用担心危险，但是如果你莽撞地打开一个旧电视机，并在里面东摸西碰（我不建议大家干这种事情），那么你就有可能遭遇凶险。一个没有放掉电的电容器可以轻而易举地电死你，就跟你将手指插入电源插座被电死一样的容易。永远不要接触大电容器，除非你真的知道自己在干什么。

基础知识

电容

直流电流不能通过电容器，但是直流电压可以在电容器内快速累积，并且在电源断开之后仍然保持。图 2-67 和图 2-68 也许可以帮助你理解当电容器充满电之后里面所发生的事情。

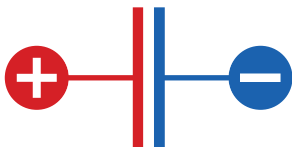


图 2-67 当直流电压到达电容器时，没有电流流过，但是电容器就像一节小电池一样，自身被充电。正负电荷数量相等，位于相对的两面

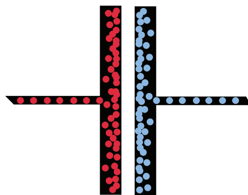


图 2-68 你可以想象正的“带电粒子”积聚在电容器的一侧，吸引着负的“带电粒子”来到相对的另一面

在大多数现代的电解电容器中，极板已经被简化成了两条极薄、可弯曲的金属薄膜，彼此卷绕在一块，由厚度均匀的薄绝缘体隔开。碟状的陶瓷电容器通常仅包含一个非导体材料的碟子，碟子的两侧涂抹上金属漆并焊上引脚。

最常见的两种电容器是陶瓷型的（储存的电荷相对较少）和电解型的（储存的电荷可能很大）。陶瓷电容通常是碟形、黄色的；电解电容的形状通常像个微型锡罐，可以有各种颜色。前面的图 2-14

和图 2-15 是电容器的照片。

陶瓷电容器没用极性，也就是说你可以在任何一侧施加负电压。电解电容是有极性的，只有按正确的方向连接才能工作。

电容器的原理图符号主要有两种：两条直线（象征电容器中的极板），或一条直线和一条曲线，如图 2-69 所示。当你看到一条曲线时，那么电容器的该侧应该比另一侧更负些，其原理图符号上可能还会包含一个正号“+”。遗憾的是，有些人在表示极化电容器时不画一条曲线，而有些人却在遇到非极化电容器时画一条曲线。



图 2-69　左图是电容器的基本符号。右边的版本表示极化电容器，它要求左极板比右极板的电位“更正”（其中的正号往往被省略）



电容器的极性

必须正确连接电解电容器，使其较长的引脚比其较短的引脚更正。在外壳上较短引脚的旁边，往往有个负号标记。

如果你把某些电容器的极性弄错了，可能产生很糟的后果。有一次我将一个钽电容器接在一个电路中，所用的电源能够提供很大的电流。正当我凝视着电路，奇怪它为什么没有工作时，电容器爆开了，一些小块带着火花散落在3in半径的范围里。错在我忘记了钽电容器很在乎连接的正负方向。图2-70显示了其后果。

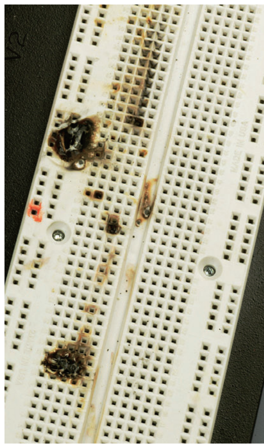


图 2-70　在将一个钽电容器插到这块面包板上时，不小心插反了方向，不巧的是，电源会输出较大的电流。经过一分钟左右的误接之后，电容开始反抗了，它爆裂开来，一些小块带着火花四处散开，烧坏了面包板的塑料。教训：注意极性！

背景知识

迈克尔·法拉第与电容器

最早的电容器是由两块金属极板间隔一个很小的间隙构成的。它的原理很简单。

- 如果一个极板连接在电源的正极上，那么正电荷将把负电荷吸引到另一个极板上。
- 如果一个极板连接到电源的负极上，那么负电荷将把正电荷吸引到另一个极板上。

前面的图 2-67 和图 2-68 传达了以上观点。

电容器的储电能力称作**电容**，其单位是法拉，以电气研究先驱者中的一位伟人——迈克尔·法拉第的名字命名的。法拉第（见图 2-71）是一位英国化学家和物理学家，生于 1791 年，卒于 1867 年。

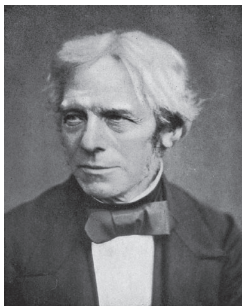


图 2-71 迈克尔·法拉第

尽管法拉第没怎么受过正规教育，也不具备多少数学知识，但他曾经在一个图书装订商手下当了 7 年学徒，有机会广泛阅读书籍，自学知识。此外，在他生活的时代，通过一些相对简单的实验就能够发现电的基本性质。因此，法拉第做出了一些重大发现，其中包括电磁感应，这导致了电动机的发明。他还发现磁场能够影响光线。

法拉第的工作给他带来了大量的荣誉，他的图像被印制在了 1991 年到 2001 年发行的 20 英镑的纸币上。

在面包板上搭建电路

我曾答应过你，在适当的时候我将把你从弹簧夹的烦恼中解救出来，现在这一时刻来临了。请把你的注意力转移到我曾让你买的那个上面有很多小孔的塑料块上来。我不知道为什么，总之它叫**面包板**。当你将元件插入孔中时，面包板内部隐藏的金属条将连接元件，使你可以建立电路进行测试，并且可以很容易地对其进行修改。完成任务之后，你

又可以从面包板上将元件拔下，放在一边供将来使用。

毫无疑问，在你决定一个电路是否有用、是否值得保留之前，在面包板上搭建电路是对其进行测试最方便的方法。

几乎所有的面包板都是与集成电路兼容的（我们将在第 4 章使用集成电路）。集成芯片需要跨坐在面包板的中央空道上，其两排针脚分别插入空道两侧的小孔（小孔通常是一行 5 孔相连）。其他元件的针脚则插入同一侧不同行的孔中即可。

此外，面包板的每侧还应该有纵向的孔，用于分配正、负电源。

请看看图 2-72 和图 2-73，它们是普通面包板的图片，其中图 2-72 是俯视面包板上部的情况，图 2-73 则是像 X 光透视一样，俯视面包板孔后所嵌金属条的情况。

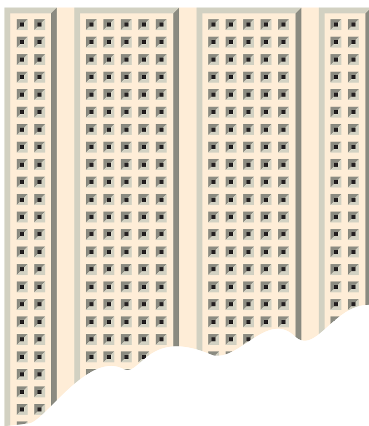


图 2-72　一个普通的面包板。你可以将元件插入孔中，快速测试电路

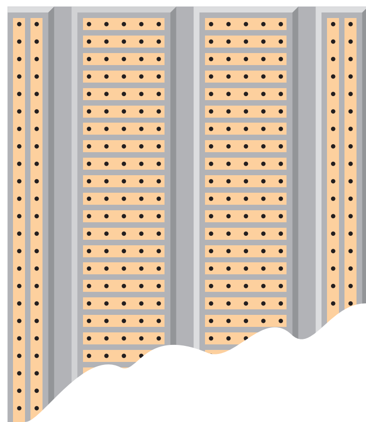


图 2-73　面包板的这个 X 光版本视图展示了嵌入面包板中的铜条的情况。这些铜条起到了在元件之间传导电流的作用

重要提示：有些面包板将左边和右边的每列孔又分割成上下两个独立的部分。请使用万用表的连续性测试功能来判断你的面包板是否沿整个长度方向的电源孔都是联通的，如果需要的话，请使用架空线将面包板上下两半的电源孔连接起来。

图 2-74 显示了如何在面包板上实现振荡继电器的电路。为了使该电路工作，你还需要把来自交流适配器的正负电源线插到面包板上。由于来自交流适配器的导线几乎肯定是成股的铜线，因此将它

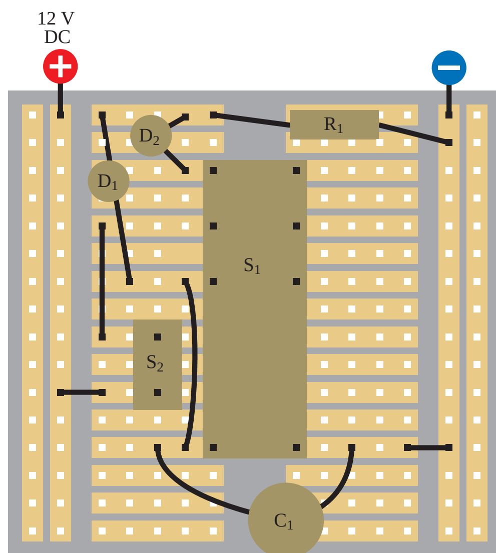


图 2-74　如果在如图所示的面包板位置上放置元件，那么建立的电路将跟你在实验 8 中用导线和弹簧夹建立的电路一样。各元件如下。

D_1、D_2：发光二极管

S_1：双刀双掷继电器

S_2：单刀单掷短暂开关

C_1：电解电容器，1 000 μF

R_1：电阻器，最小 680 Ω

们插入面包板的小孔会遇到一定的困难。解决这个问题的一个办法是使用一对裸线径为 22 号线规的导线，用一对弹簧夹将它们连接在适配器的导线上，作为它们的端子，插入面包板的小孔，如图 2-75 所示（这个方法仍要求你使用一对弹簧夹）。作为替代方案，你可以使用带有电源端子的面包板，这将更为方便。

另外你还需要更多的 22 号线规的导线，或者准备一些预先剪好的架空线，来将电源连接到元件，图 2-76 和图 2-77 具体显示了它们插入面包板的情况。如果你的所有连接都正确无误的话，那么电路应该跟以前的一样正常工作。



图 2-75　如果你的面包板上没有螺丝端子，那么可以在面包板上插入两根端部剥掉绝缘层的实心导线，然后利用弹簧夹将它们接在适配器的引出线上

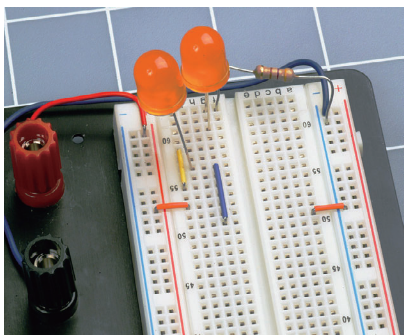


图 2-76　两个大尺寸 LED、一个电阻器以及一些必要的架空线已经插在面包板上

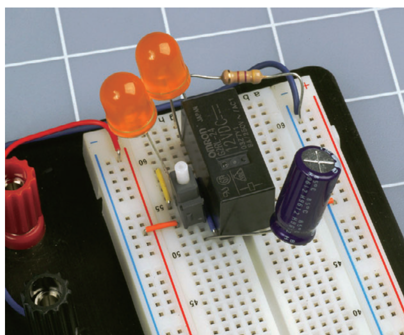


图 2-77　接下来插上按钮、继电器以及电容器，从而完成了示意图以及电路原理图中的电路。当按下按钮时，继电器将振荡，LED 将闪光

面包板上金属连接条的特殊几何分布常常会迫使你绕着弯儿去连接元件。例如，按钮是为继电器的刀提供电源的，但是你无法直接将它们对接，因为没有地方进行对接。

> 大尺寸版本的电路原理图和面包板照片可以在本书的网站http://oreilly.com/catalog/9780596153748上找到。

请记住：面包板内没有插入任何导线或元件的金属条跟你的实验毫不相干，它们在实验中不做任何事情。

在你使用本书的过程中，我将时不时给你推荐一些面包板布局，不过最终你还是得自己设计自己的面包板布局，因为这是电子爱好者的一个基本技能。

实验 9　时间与电容器

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 交流适配器、面包板、导线、钢丝钳及剥线器。
- ❒ 万用表。
- ❒ 按钮，单刀单掷的，数量：1 个。
- ❒ 电阻器及电解电容器，套装的。

在实验 8 中，当你将一个电容并联在继电器的线圈上后，电容器几乎在一瞬间就完成了充电，然后再等待时机，通过继电器的线圈放

电。如果你在电容器上面串联一个电阻器，那么电容器将需要较长的时间进行充电。通过让电容器的充电时间延长，你可以测量时间，这是一个十分重要的概念。

清理掉面包板上的元件，然后用它来搭建图 2-78 所示的十分简单的电路，其中 C_1 是 1 000 μF 的电容器，R_1 是 100 kΩ 的电阻器，R_2 是 100 Ω 的电阻器，S_1 是你前面使用过的那个按钮。将万用表设置在 DC 档，将探针放在电容器两端，按下按钮。你会看到随着电容器上电压的积蓄，万用表也在往上计数（使用手动量程的万用表更容易看到结果，因为你无需等待万用表为你设定量程到底是多少）。电阻器 R_1 减慢了电容器充电的速度。

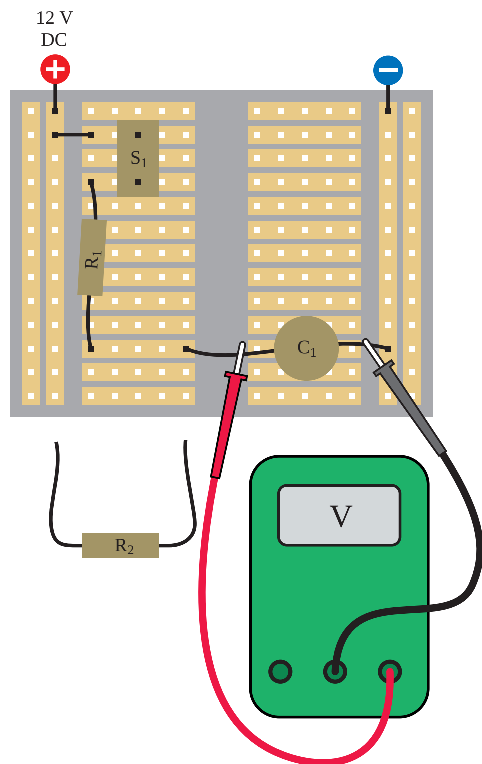


图 2-78　当你按下按钮时，注意观察电容器上电压的情况。让 R_2 接触电容器的两端使它放电，改变 R_1 的阻值，然后重复上面的测量过程

S_1：端子开关，OFF(ON) 型

R_1：开始为 100 kΩ

R_2：100 Ω

C_1：1 000 μF

放开按钮，将万用表放在一边，让 R_2 接触电容器的两端约 1 s ～ 2 s，以使电容器放电。然后将 R_1 替换成 50 kΩ 的电阻器，重复以上的测量。现在万用表往上计数的速度应该比之前快几乎 1 倍。

电压、电阻及电容

将电阻器看成一个水龙头，将电容器看成一个需要灌水的气球。当你旋开水龙头只让细细的水流流出时，气球将需要很长的时间才能装满水。不过只要你等待足够长的时间，缓慢流下的水流仍然能够把气球完全装满，并且（假设气球不会破裂）当气球内的压力等于施加在水龙头的水管中的压力时，就装满了，装水的过程也就结束了，见图 2-79。

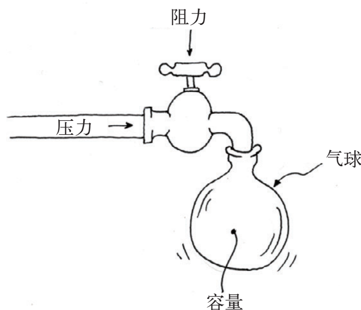


图 2-79　当水龙头半开时，需要较长的时间来装满气球，但最终所充的水量却是相同的，获得的压力也是相同的

类似地，在你的电路中，只要你等待足够长的时间，电容器两端的最终电压应该达到电源电压的相同数值。在一个 12 V 的电路中，电容器最终应该得到 12 V 的电压（尽管这里的“最终”所代表的时间可能比你想象的时间要长得多）。

这里可能有点让人混乱，因为在前面我们学过，当你把电压加在电阻器的一端时，你得到的输出电压要比输入电压低。为什么当电阻器与电容器成对使用时，电阻器却可以将全部的电压传递给电容器呢？

请暂时忘掉电容器，回忆一下以前你是如何测量两个 1 kΩ 的电阻器的电压的。在有两个电阻器的情况下，每个电阻器都拥有电路总电阻的一半，因此每个电阻器上的电压占总电压的一半。如果将万用表的负探针放在电源的负极，让正探针接触这两个电阻器的中间点，你将测到 6 V。如图 2-80 所示。

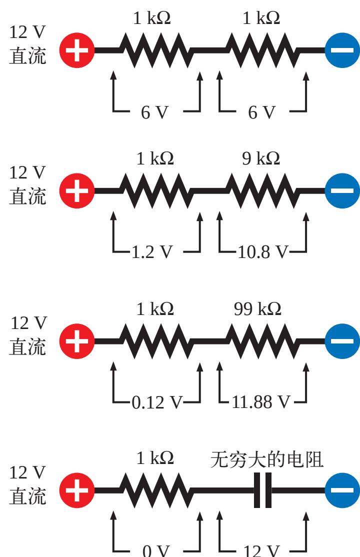


图 2-80　当两个电阻串联时，较大电阻的电压降比较小电阻的电压降要大。如果较大的那个电阻变成无穷大（例如电容器的情况），那么较小的电阻对电压降就不再有任何可以测出的贡献，其两端的电压几乎是相同的

现在假定去掉一个 1 kΩ 的电阻器，用一个 9 kΩ 的电阻器来代替它。这时电路的总电阻是 10 kΩ，因此 9 kΩ 电阻器上的电压降是 12 V 的 90%，即 10.8 V。你应该试试这个电路，用万用表测测。（你不太可能找到 9 kΩ 的电阻器，因为这不是标准值。请用你能够找到的最接近的电阻器来替换。）

现在假定你去掉这个 9 kΩ 的电阻器，用一个 99 kΩ 的电阻器来替换它。它上面的电压降将是总电压的 99%，也就是 11.88 V。你应该可以看出这里的趋势：电阻值越大，它对电压降的贡献就越大。

我在前面指出过，电容器完全阻断直流电压。它上面可以累积电荷，但却不会让电流流过。因此，对于直流电流来讲，电容器就像一个具有无穷大电阻的电阻器。

（实际上，电容器内的绝缘允许有一点点的“泄漏”，但是理想的电容器应该具有无穷大的电阻。）

和电容器串联的电阻器，无论其电阻值为多少，和电容器比起来都是微不足道的。无论电阻器的阻值有多高，在电路中仍然是电容器提供了主要的电阻。这就意味着，电容器偷掉了电路中几乎所有的电压降，而降落在电阻器两端的电压差是零（这里假定忽略元件的小小的非理想性）。图 2-80 也许有助于你理解这个概念。

你应该拿真的电阻器和电容器试一试——尽管当你这样做时会遇到一个小小的问题。当万用表位于 DC 档时，在测量的过程中，它会从电路中分走一点点电流——仅仅是尝一点味道。当你测量电阻器两端的电压时，万用表偷走的电流很小，不会显著地影响读数，这是因为万用表的内阻比大多数电阻器的电阻要高。然而，你应该记得电容器的内阻几乎等于无穷大，因此，万用表的内阻在这里就变得很重要了。实际上，你永远不可能得到一个理想的万用表，就像你得不到理想的电容器和电阻器一样，万用表总会对电路有些轻微的干扰，你得到的只能是一个近似的读数。

如果一个电容器已经充电，但没有连接到任何其他元件上，现在你用万用表来测量它的电压，那么你将看到电压读数慢慢下降，这是因为电容器在通过万用表放电。

理论知识

时间常数

你也许想知道，当采用不同的电阻器配对给不同的电容器充电时，有没有方法来精确预测充电所需的时间。有没有公式可以计算这个时间呢？

答案是肯定的，不过由于电容充电的速度不是恒定的，因此测量这个时间的方法有点复杂。电容器积聚第一伏电压很快，第二伏就没那么快了，第三伏则更慢，总之是越来越慢。你可以把电子在电容器极板上积聚的过程想象为人们步行到音乐厅去找座位的情景。剩下的座位越少，人们找到空位的时间就越长。

我们用一个称作**时间常数**的量来描述这个过程。时间常数的定义十分简单。

$$TC = R \times C$$

这里 TC 是时间常数，电容器的电容是 C（法拉），它通过电阻值为 R（欧姆）的电阻器充电。

回到你刚测过的电路，再测一次，不过这次要用 1 kΩ 的电阻器和 1 000 μF 的电容器。在将这些数值代入公式之前，要先将它们转换成法拉和欧姆。1 000 μF 就是 0.001 F，1 kΩ 就是 1 000 Ω，因此公式就变成下面的样子：

$$TC = 1\,000 \times 0.001$$

换句话说就是，$TC = 1$，即

> 一个 1 kΩ 的电阻器与一个 1 000 μF 的电容器串联时，时间常数为 1。

这一点可不是那么容易记住的！

这是不是意味着电容器将在 1 s 内被充满电呢？不，不是这么简单的。时间常数 TC 仅仅是电容器的电压上升到外加电压的 63% 时所需要的时间（如果电容器的电压是从零开始的话）。

（为什么是 63% 呢？这个问题的答案对于本书来讲太复杂了。如果你希望了解更多，就得到其他地方去读读关于时间常数的内容，而且你还得先具备微分方程的基础。）下面是时间常数的一个正式

定义，可供将来参考。

> *TC*，即时间常数，是电容器获得某个电荷量所需要的时间，这个电荷量等于外施电压对应的满电荷量与电容器当前的电荷量之差的 63%。当 *TC*=1 时，电容器将在 1 s 内获得满电荷的 63%。当 *TC*=2 时，电容器将在 2 s 内获得满电荷的 63%。

如果你继续施加电压，会发生什么事情呢？历史总是重复自己。电容器将在 *TC* 的时间里积累余下差值（即满电荷量与当前电荷量之差）的另一个 63%。

假定某个人吃一个蛋糕。吃第一口时，由于特别饿，他在 1 s 内吃掉了蛋糕的 63%。吃第二口时，为了不显得太过贪婪，他只吃掉了蛋糕剩余部分的 63%，并且由于他不再感到特别饿了，因此他吃第二口所用的时间跟吃第一口的时间相同。吃第三口时，他仍然是吃了剩下部分的 63%，所用时间也跟前面一样。这样继续下去，他的吃法就跟电容器"吃"电荷是一样的（图 2-81）。



图 2-81　如果我们的美食家每次只吃盘子上剩余蛋糕的 63%，那么他就是以电容器充电的方式来"填充"自己的肚子。按着这种方式，无论他吃多长时间，他永远也吃不完整个蛋糕或填满自己的肚子

永远有一丁点碎屑等着吃蛋糕者去吃，因为他从不吃掉剩余部分的 100%。同样地，电容器将永远不会得到满电荷。在一个完美的世界里，对于理想的元件来讲，这个过程将持续无限的时间。

在真实的世界里，我们十分肯定地认为：

在 5×TC 的时间之后，电容器将十分接近于充满电的状态，我们不再在乎那个差值。

在下面的表中，我们做了一点计算（保留小数点后两位），以说明电容器上电荷的累积过程。表中的电容器位于一个 12 V 的电路中，时间常数是 1 s。

时间（s）	V_1：电容器上的电压	V_2：$12-V_1$	V_3：V_2 的 63%	V_4：V_1+V_3
0	0.00	12.00	7.56	7.56
1	7.56	4.44	2.80	10.36
2	10.36	1.64	1.03	11.39
3	11.39	0.61	0.38	11.77
4	11.77	0.23	0.15	11.92
5	11.92			

我们来解释一下这个表。在这个表中，V_1 是电容器上当前的电压。从供电电压（12 V）中减去当前电压，求得差值，称之为 V_2。接下来取 V_2 的 63%，将其加到当前的电压（V_1）上，并称之为 V_4。这就是 1 s 以后电容器上新的电压，因此我们可以将其复制到这个表的下一行，成为 V_1 的新值。

接下来重复以上过程。图 2-82 以图形的方式显示了这个表。注意，在经过 5 s 之后，电容器已经获得了 11.92 V 的电压，这等于供电电压的 99%。这在现实世界中已经算是十分接近，足以满足任何人的需要了。

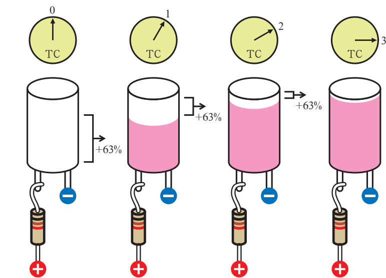


图 2-82　电容器从 0 V 开始充电的过程。经过一个时间常数之后，它的端电压增加到电源电压的 63%。再经过另一个时间常数，它的端电压将增加电压差值（电源电压与电容电压之差）的 63%，以此类推

如果你想在电容器充电时通过测量电容器两端的电压来核实表

中的数据，那么请记住，由于万用表偷走了一点点电流，因此会存在一个偏差，并且随着时间的推延，偏差还会增大。不过，从实用的角度来看，这个系统应该能够很好地按照我们描述的规律工作。

实验 10 晶体管开关

以下是你需要用到的东西。

- 交流适配器、面包板、导线以及万用表。
- LED，数量：1 个。
- 电阻器，各种规格的。
- 按钮，单刀单掷的，数量：1 个。
- 晶体管，2N2222 型或类似的，数量：1 个。

晶体管也可以对电流进行开关，就像继电器一样。不过它更灵敏、更通用，我们的第一个超级简单的实验就是用来证明这一点的。

我们将从 2N2222 晶体管开始，它是有史以来使用最为广泛的半导体器件（它于 1962 年由摩托罗拉公司发布，并一直在生产）。

首先，你需要熟悉晶体管。由于摩托罗拉公司关于 2N2222 的专利早已过期，因此任何公司都可以生产它们自己版本的 2N2222。有些版本是封装在一小片黑色塑料里的，而另外一些则封装在一个小金属“罐”中（见图 2-83）。无论哪种封装，包含的都是分成三部分的一片硅材料，这三部分分别是集电极、基极以及发射极。一会儿我将对它们的功能作更详细的介绍，但目前你只需要知道在这种类型的晶体管中，集电极接收电流，基极对其进行控制，发射极将该电流发出。

在面包板上搭建图 2-85 所示的电路。要注意正确地连接晶体管（见图 2-84）！对于我在购物清单中提及的 3 个品牌，黑色塑料封装的晶体管的扁平侧朝着右面，金属封装的晶体管的小凸鳍片朝着左下方。

开始时 LED 应该是不亮的。现在按下按钮，LED 应该变得很亮。现在电流有了两条通路。请看图 2-86 的电路原理图，它将同一个电路显示得更为清楚。我已经把正端显示在顶部，负端显示在底部（大多数原理图都是以这种方式显示的），因为这样显示有助于阐明这个特别电

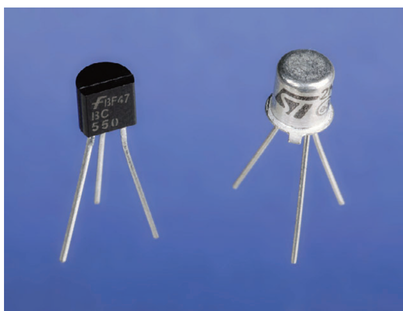


图 2-83　典型的晶体管或者封装在小金属罐中，或者封装在浇铸的黑色塑料片中。制造商的参数说明书会告诉你怎么辨识 3 个引脚（相对于黑色塑料晶体管的扁平侧或相对于金属罐晶体管上凸出的小鳍片）

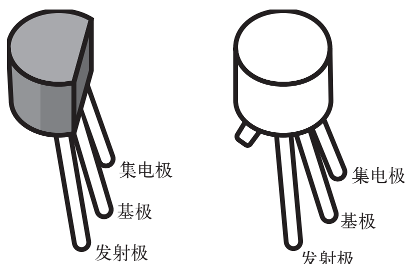


图 2-84　2N2222 晶体管可以采用这两种封装中的任何一种。左侧：RadioShack 公司或仙童公司的。右侧：STMicro-electronics 公司的（注意小鳍片是从左下侧凸出来的）。如果你看到的是其他品牌的，那么你必须查看厂家的参数说明书。当你将晶体管插入面包板时，请像上图一样，让扁平的一侧朝右，或让小鳍片指向左下方

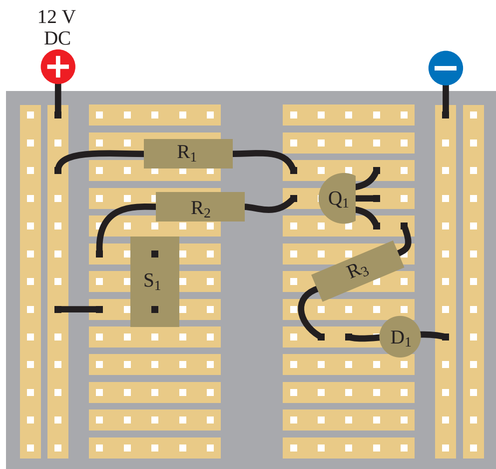


图 2-85　晶体管阻断从 R_1 过来的电压。但是当你按下按钮 S_1 时，这将告诉晶体管，让它允许电流通过。请注意在接线图和电路原理图中，晶体管总是用字母 Q 来标记的

- S_1：按钮，短暂 OFF(ON) 型
- R_1：180 Ω
- R_2：10 kΩ
- R_3：680 Ω
- Q_1：2N2222 或其他类似的
- D_1：LED

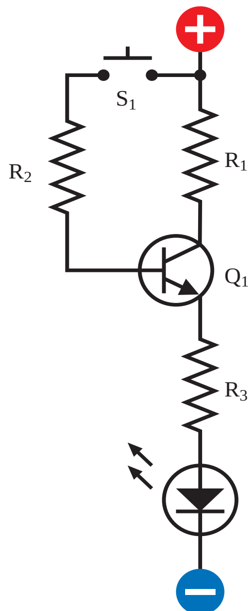


图 2-86　这是图 2-85 所示面包板电路的电路原理图

路的功能。如果你从侧面去看电路原理图，更容易看出它与面包板电路布局的相似性。

电压经过 R_1 到达晶体管的顶部引脚（集电极）。由于晶体管仅仅允许极小的细小电流通过，因此 LED 保持熄灭状态。当你按下按钮时，出现了另外一条施加电压的通路，电压通过 R_2 加到晶体管中间的引脚（基极）上。这将告诉晶体管打开自己的晶体管开关，让电流通过自己的第三个引脚（发射极）流出，经过 R_3 达到 LED 上。

你可以将万用表设置在 DC 档，来测量电路各点的电压。让万用表的负探针接触电源的负极，正探针接触晶体管的顶部引脚、中间引脚以及底部引脚。当你按下按钮时，应该可以看到电压改变。

指尖开关

现在要介绍一个很特别的做法。去掉 R_2 和按钮，插入两条短导线，如图 2-87 所示。让上面的导线与电压的正端相连，下面的导线与晶体管的中间引脚（基极）相连。现在用你的手指尖接触这两根导线。结果 LED 又亮起来了，只不过没有以前那么亮。舔湿你的指尖，再试一次，LED 应该变得更加明亮。

你的手指在将正电压引向晶体管的基极。尽管皮肤具有很高的电阻，但晶体管仍然能够作出响应。它不仅仅是在开通和关断 LED，**它放大**了施加到基极的电流。这是一个基本的概念：**晶体管对施加到其基极上的任何电流变化进行放大**。

查看图 2-88，看看到底是怎么回事。

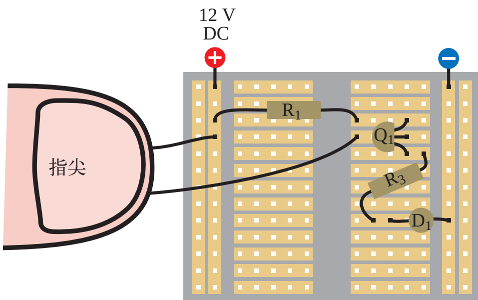


图　2-87

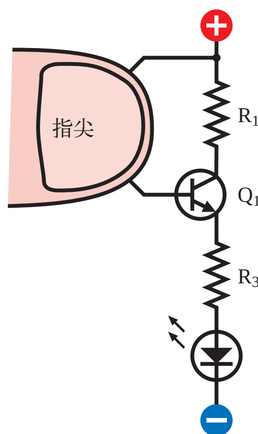


图 2-88　除了用指尖代替了 R_2 以外，图 2-87、图 2-88 中显示的元件跟前面的图 2-85、图 2-86 是完全一样的。现在尽管只有极小的一点电压到达晶体管的基极，但这已经足以使晶体管作出响应



永远不要用两只手

如果电流只通过你的指尖的话，指尖开关的演示是安全的。你甚至感觉不到什么，因为我们用的电源只是一个仅能提供1A甚至更小电流的12V的直流电源。但是，你若将一只手的手指放在一条导线上，而将另外一只手的手指放在另外一根导线上，则不是一个好办法。这将导致电流通过你的身体。尽管这样伤害到你的几率相当微小（因为我们的电压低），但是你永远都不应该允许电流从一只手经过身体流到另外一只手。此外，当你接触导线时，要注意不要让它刺破你的皮肤。

学习了第 1 章中的“背景知识：正电与负电”，你就知道其实并没有正电压这么一个东西。我们所拥有的只是负电压（由自由电子的压力产生）以及负电压的欠缺（这个地方缺少了一些自由电子）。但是由于在发现电子之前，电流从正极流向负极的观念已经被广泛接受，并且由于晶体管内部的工作机制牵涉到“空穴”（即电子的缺失），而这个空穴可以看成是正的，所以我们仍然可以假定电流是从正极流向负极的。请参考“基础要件：NPN 和 PNP 晶体管”，以获取更多的细节。

基础要件

NPN与PNP晶体管

晶体管是一种半导体，这意味着它有时导电，有时又不导电。它的内阻是变化的，大小取决于施加在基极上的电力。

NPN 晶体管和 PNP 晶体管都是双极型半导体，都包含两种稍有不同的硅，靠空穴和电子这两种极性的载流子来导电。

NPN 型晶体管像三明治一样，将 P 型的硅夹在中间；而 PNP 型晶体管也如此，将 N 型的硅夹在中间。如果你想进一步了解这些术语以及电子是如何通过一个 NP 结或一个 PN 结的，那么你

就必须针对这些内容去阅读其他专业书籍。对于本书来讲，这些内容的技术性太强了，故不予介绍，你只要记住以下的内容就可以了。

- 所有的双极型晶体管都有三个连接，即集电极、基极和发射极，在制造商的参数说明书上，分别用缩写 C、B 和 E 来表示，你可以由此找到相应的引脚。
- NPN 型晶体管要求基极（相对于发射极）的电压为**正**时，才能激活。
- PNP 型晶体管要求基极（相对于发射极）的电压为**负**时，才能激活。

在未激活的状态下，这两种晶体管都会阻断集电极与发射极之间的电流，就像一个触点常开的单刀单掷继电器一样（实际上，无源状态下的晶体管允许通过极小的一点电流，称为“漏”电流）。

你可以想象双极型晶体管内部有一个小按钮，如图 2-89 和图 2-90 所示。当按下按钮时，它允许大电流流过。要按下这个按钮，你需要在基极上施加一个小电压，来给基极注入一个更小的电流。在 NPN 型晶体管中，要求这个控制电压是正的。在 PNP 型晶体管中，要求这个控制电压是负的。

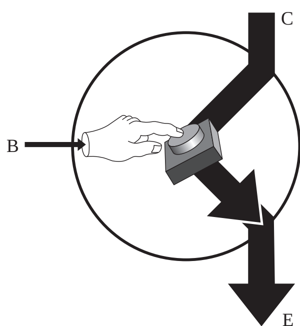


图 2-89 你可以想象双极性晶体管有一个按钮，它可以将集电极与发射极连通起来。在 NPN 型晶体管中，需要一个小的正电压才能按下按钮。箭头指向“正电流”的方向

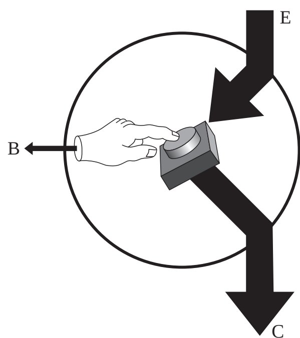


图 2-90 在 PNP 型晶体管中，负电压才能起作用，即需要一个小的负电压来按下按钮。箭头指向“正电流”的方向

NPN型晶体管

- ❒ 启动从集电极到发射极的电流，需要在基极上施加一个相对较正的电压。
- ❒ 在电路原理图中，箭头从基极指向发射极，显示了正电流的方向。
- ❒ 为了启动电流，基极必须比发射极至少“更正”0.6 V。
- ❒ 集电极必须比发射极“更正”。

PNP型晶体管

- ❒ 启动从发射极到集电极的电流，需要在基极上施加一个相对较负的电压。
- ❒ 在电路原理图中，箭头从发射极指向基极，显示了正电流的方向。
- ❒ 为了启动电流，基极必须比发射极至少“更负”0.6 V。
- ❒ 发射极必须比集电极“更正”。

所有晶体管

- ❒ 绝不要在晶体管上直接施加电源。如果直接施加电源，将流过太大的电流而烧掉晶体管。
- ❒ 用一个电阻器来保护晶体管，就像你以前用电阻器来保护 LED 那样。
- ❒ 要避免将晶体管反接在正负电压之间。
- ❒ 有时在电路中使用 NPN 型晶体管更为方便，有时则 PNP 型晶体管更为方便。它们都起开关和放大器的作用，差别只在于 NPN 型晶体管的基极需要施加一个相对较正的电压，而 PNP 型晶体管的基极需要施加一个相对较负的电压。
- ❒ PNP 型晶体管使用相对较少，主要是因为在半导体行业的早期，PNP 型晶体管更难制造。因此人们更习惯于用 NPN 型晶体管来设计电路。
- ❒ 记住双极性晶体管放大的是电流而不是电压。基极电流的微小波动，将导致发射极与集电极之间的电流发生大的波动。

- 在电路原理图中，有时会在晶体管符号上画一个圆圈，有时则不画。在本书中，我会使用带圆圈的符号，以将你的注意力吸引到它们上面来，见图 2-91 和图 2-92。

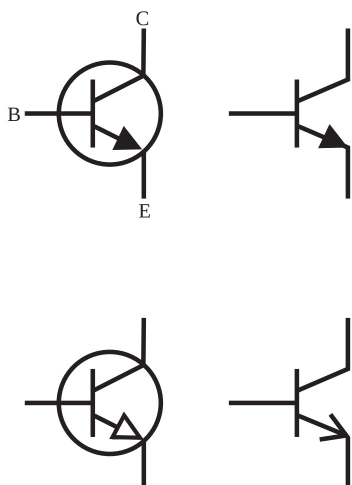


图 2-91 在 NPN 型晶体管的符号中，箭头总是从基极指向发射极的。有些人会在晶体管符号上加一个圆圈，有些人则不这样做。箭头的样式可能会变化，但都表示相同的意思。左上角的图是本书中使用的版本

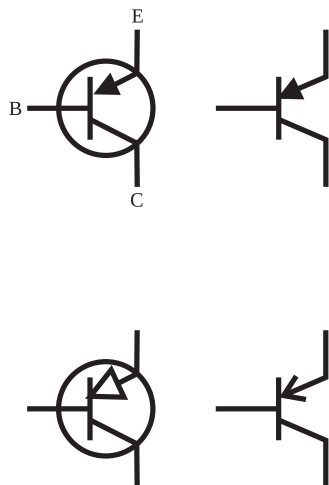


图 2-92 在 PNP 型晶体管的符号中，箭头总是从发射极指向基极的。有些人会在晶体管符号上加一个圆圈，有些人则不这样做。箭头的样式可能会变化，但都表示相同的意思。左上角的图是本书中使用的版本

- 电路原理图可能会将发射极显示在上部、集电极显示在下部，也可能反过来显示。基极可能会在左侧，也可能在右侧，主要取决于怎样更便于人们来绘制电路原理图。注意区别晶体管符号中的箭头，看它是如何走向的，是 NPN 型的还是 PNP 型的。连接错误的话有可能烧掉晶体管。
- 晶体管的尺寸、配置多种多样。在许多晶体管中，都没有办法来判定到底哪个引脚是发射极、集电极和基极，有些晶体管上面也没有标出产品型号。因此，在你丢弃晶体管的包装之前，先检查一下上面是否有引脚标注的信息。
- 你若忘记了各个引脚的定义，那么有些万用表可以帮你辨别

出到底哪个引脚是发射极、集电极和基极。请查看万用表的说明书了解其是否有这个功能。

背景知识

晶体管溯源

尽管有些历史学家将晶体管的历史追溯到二极管（它允许电流沿一个方向流通，而阻止其沿相反的方向流通）的发明，但人们对于第一个可以正常工作的晶体管是由约翰·巴丁、威廉·肖克莱以及沃尔特·布喇顿（见图 2-93）在贝尔实验室开发出来的这一点没有争议。

肖克莱是这个研究小组的负责人，他前瞻性地看到了固态开关的潜在重要性；巴丁是其中的理论家；布喇顿则是实际让晶体管工作起来的人。他们的合作极富成果，最后终于取得了成功。然后肖克莱着手专利的申请，他以自己一个人的名义申请了晶体管的专利。当他将专利申请的事情通知他的合作者们时，他们自然不太高兴。

有一张在公众中广泛流传的照片容易给人误导。在这张照片中，肖克莱坐在显微镜前方的中央，就好像是他亲手完成了这项工作一样，而另外两个人则站在他的后边，暗示他们所起的作用较小。实际上，肖克莱作为一名主管，他很少出现在完成实际工作的实验室里。

这次富有成果的合作很快就破裂了。布喇顿要求转到 AT&T 的另外一个实验室。巴丁则转到伊利诺伊大学（UIUC）从事理论物理的研究。肖克莱最终离开了贝尔实验室，在后来称作硅谷的地方创建了肖克莱半导体实验室。不过他的雄心壮志超出了他那个时代的技术能力，他的公司从来没有生产出一件盈利的产品。

在肖克莱的公司中，有 8 名合作者最终背叛了他，这 8 个人辞职并创立了自己的公司——仙童半导体公司，该公司在晶体管的制造以及后来的集成电路芯片的制造方面取得了巨大的成功。



图 2-93　照片由诺贝尔基金会提供，从左到右分别为：约翰・巴丁、威廉・肖克莱以及沃尔特・布喇顿。由于他们于 1948 年合作研制出了世界上第一个能够工作的晶体管，而分享了 1956 年度的诺贝尔物理学奖[①]

基础要件

晶体管与继电器

NPN 晶体管和 PNP 晶体管的一个局限是，在你“打开”它之前，它是自然“断开”的。它的特点类似一个常开的按钮，只有你一直往下按住它，它才导通电流。它们的正常行为不像一个常闭开关（在你施加信号让它断开之前，常闭开关将一直保持导通）。

继电器提供了更多的开关选择。它可以是常开的、常闭的；也可以包含一个双掷开关，提供两个“导通”位置给你选择；还可以包含一个双刀开关，当你给线圈激磁时，它将建立（或断开）两个独立的连接。单个的晶体管设备无法提供双掷或双刀的特征，不过你可以设计更为复杂的电路来模仿这种行为。

以下对晶体管和继电器的特性做个对比。

① 此外，巴丁还与库珀、施里弗等人因在超导电性方面的成就而分享了 1975 年的诺贝尔物理学奖，这使得巴丁成为第一位、也是目前为止唯一一位两次获得诺贝尔物理学奖的人。——译者注

	晶体管	继电器
长期可靠性	优	有限
双刀和双掷开关的可配置性	无	可
开关大电流的能力	有限	良
开关交流的能力	通常不能	可
由交流来触发的能力	通常不能	可
微型化的适应性	优	十分有限
对热的敏感性	高	适中
高速开关的能力	优	有限
低电压小电流场合的价格优势	有	无
高电压大电流场合的价格优势	无	有
“断开”状态的漏电流	有	无

到底该选择继电器还是该选择晶体管取决于具体的应用。

理论知识

检测电流

如果想更准确地了解晶体管的工作原理，你就应该试试这个小测试。它精确地显示出（你在前一个实验中使用过的）2N2222 晶体管的行为和局限性。

我已经讲过，在 NPN 型晶体管中，集电极的电位始终应该比发射极的电位高，而基极的电位则应该在这两个电位之间的某个位置。图 2-94 显示了这个相当含糊的关系。现在我要用一些具体的数据来代替这一般化的陈述。

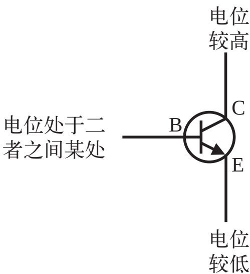


图 2-94　要使 NPN 型晶体管正确地工作，你必须维持图中的这个电压关系

看看图 2-95 所示的电路原理图，并留意一下元件的参数值。可以看出，晶体管上部的总电阻为 R_1+R_2，晶体管下部的总电阻为 R_3+R_4，两者相等。因此，晶体管基极上的电位应该位于两个极限值

的中央——除非你采用电位器 P_1 来上下调整基极的电压。

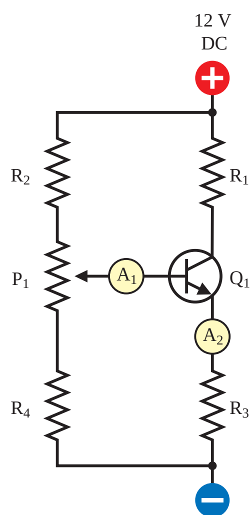


图 2-95　这个电路跟前一个电路在本质上是相同的，只是增加了一个电位器，去掉了 LED。各元件的值如下。

R_1：180 Ω
R_2：10 kΩ
R_3：180 Ω
R_4：10 kΩ
P_1：1 MΩ 的线性电位器
Q_1：2N2222 型晶体管

两个 180 Ω 的电阻器 R_1 和 R_3，用来防止过大的电流通过晶体管。两个 10 kΩ 的电阻器 R_2 和 R_4，用于当电位器被调到顶或被调到底时对基极进行保护。

我希望你通过测量（A_1 位置处）流进基极的电流以及（A_2 位置处）发射极流出的电流，能够搞明白晶体管到底在干什么。由于需要测量两个电流，因此你有两个万用表将会很方便。要是像图 2-96 和图 2-97 所示的面包板示意图那样，在两个位置上将同一个万用表换来换去，确实会有一定的难度。

请记住，测量电流（用 mA 档），就必须让电流通过万用表。这就意味着万用表必须连接到电路中，并且当你移走万用表时，必须在万用表原来的位置重建连接。面包板示意图显示了怎样才能做到这一点。幸运的是，在面包板上很容易去掉和替换导线。在导线与电位器连接的地方，你可以回到以前使用弹簧夹的办法。

开始时先将电位器旋到其旋转范围约半路的位置。在 A_1 点和 A_2 点进行测量。然后将电位器往上旋一点点，再次在这两个位置进行测量。下表是我用两个数字万用表同时在这两个位置测得的一些实际数据。

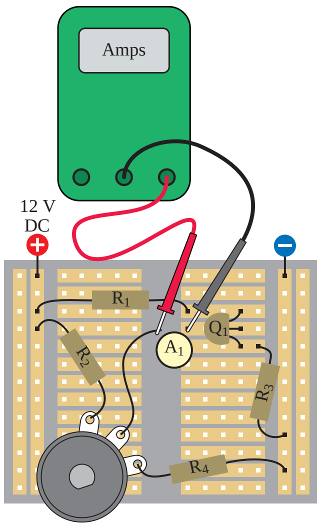


图 2-96　在测量位置 A_1 处（见图 2-95）从电位器流进晶体管基极的电流时，万用表的连接情况

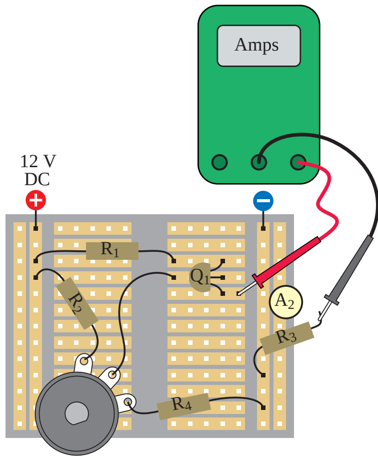


图 2-97　为了用万用表测量位置 A_2 处从晶体管发射极流出并进入 R_3 的电流，需要将电阻器 R_3 的一端从面包板上拔出来

通过 A_1 位置的毫安数	通过 A_2 位置的毫安数
0.01	1.9
0.02	4.9
0.03	7.1
0.04	9.9
0.05	12.9
0.06	15.5
0.07	17.9
0.08	19.8
0.09	22.1
0.10	24.9
0.11	26.0
0.12	28.3

表中存在一个十分明显的关系。通过位置 A_2 从晶体管的发射

极出来的电流大约是通过 A_1 位置进入基极的电流的 24 倍。从 NPN 型晶体管的发射极出来的电流与进入基极的电流之比，称作晶体管的**贝塔值**。贝塔值表示了晶体管的放大能力。

除非你实验的电流太大，否则贝塔值将是一个相当恒定的比值。当基极电流超过 0.12 mA 后，我的这个晶体管就变得“饱和”了，也就是说它的内阻再也不能继续降低了。

在我的小实验中，我发现在 A_2 位置的最大电流是 33 mA。根据欧姆定律，经过简单的计算表明，此时晶体管的内阻接近于零。这就是你为什么必须在电路中加入其他的电阻来保护晶体管的原因。如果不这样做，它的低内阻将导致通过其上的电流非常大，这将立即烧掉晶体管。

那么在另一个极端情况下（即电流极小的时候）会怎么样呢？当 A_2 位置的电流只有 1.9 mA 时，晶体管的内阻大约为 6 000 Ω。这就是说，根据施加在晶体管上的电流的不同，其内阻大约在 0 到 6 000 Ω 之间变化。

晶体管的理论介绍就到此为止。现在我们能够用晶体管来做点什么样的有趣或有用，甚至既有趣又有用的事情呢？我们可以来做实验 11！

实验 11 一个模块化的项目

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 交流适配器，面包板，导线以及万用表。
- ❒ LED，数量：1 个。
- ❒ 电阻器，若干。
- ❒ 电容器，若干。
- ❒ 晶体管，2N2222 型或其他类似的型号，数量：2 个。
- ❒ 2N6027 型可编程单结晶体管（PUT），数量：2 个。
- ❒ 微型 8 Ω 扬声器，数量：1 个。

到目前为止，我所描述的都是小电路，只能完成极其简单的功能。现在是向你展示如何将模块组合在一起，来完成稍微多一点任务的时候了。

这个实验的最终产品是一个像小汽笛一样制造噪音的电路，可以用在侵入报警器中。无论你是否对拥有一个报警器感兴趣，但开发这样一个报警器的 4 个步骤却是很重要的，因为这个电路将显示各自独立的元件组如何能够彼此通信。

我先向你展示如何将实验 8 中用继电器搭建出来的振荡电路改为由晶体管搭建出来的固态版本。你也许还记得，在实验 8 中，继电器的接线方法是这样的：它的线圈通过自己的一个触点来获得电流；一旦线圈获得电流，它就会打开该触点，从而切断电力；一旦该触点释放（即恢复原来的闭合状态），电力又会恢复。这个过程将不断重复。

采用单个双极型晶体管根本无法完成以上的功能。你实际上需要两个双极型晶体管，彼此相互开与关，而其中的工作原理也是相当难理解的。一个较为容易的选择是采用另一种不太一样的东西，这就是可编程单结晶体管，即 PUT。

单结晶体管出现于 20 世纪 50 年代，不过当更加简单的硅芯片能够以更精确、更便宜的方式来完成同样的功能时，单结晶体管就不怎么使用了。然而，这种所谓的可编程单结晶体管仍然唾手可得，它们主要用在灯泡亮度控制和电机控制上。由于其主要用途是产生一系列脉冲，因此对于我们的目的来讲是很理想的。

如果你像图 2-98 所示的那样将元件连接起来，那么一旦你加上电源，LED 就应该开始闪烁。

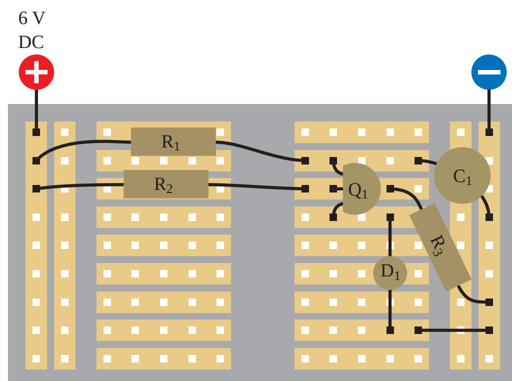


图 2-98　插上这些元件，加上电源，LED 就应该闪烁

R_1：470 kΩ

R_2：15 kΩ

R_3：27 kΩ

C_1：2.2 μF 的电解电容器

D_1：LED

Q_1：2N6027 型可编程单结晶体管

注意这个电路的工作电压是 6 V。虽然使用 12 V 也不会烧毁任何东西，不过随着我们不断加入新的元件，你会发现它在 6 V 下要比在 12 V

下工作得更好。如果你阅读了“基础要件：可编程单结晶体管”，就会明白这个电路的工作原理。

基础要件

可编程单结晶体管

可编程单结晶体管（PUT）的电路原理图符号跟双极型晶体管的符号大不相同，并且它的部件命名也不相同。尽管如此，它还是具有作为固态开关的类似功能。其符号及 3 个引脚的名称如图 2-99 所示。



图 2-99 PUT 的电路原理图符号

请注意，这是一个罕有的例子，也许是整个电子学中仅有的一例，PUT 的电路原理图符号只有一种，它没有令人感到混乱的变体。PUT 的符号总是我这里所画的样子。我个人觉得，如果能够给它加一个圆圈就更好了，但是由于没有人这样做，所以我也就不加圆圈了。

2N6027 也许是最常见的 PUT 了，并且其封装和引脚好像也是标准化的。我只见过塑料注模封装的，没有见过小锡罐的。图 2-100 所示为摩托罗拉公司或 On Semiconductor 公司生产的 2N6027 的引脚功能。如果你的 PUT 来自其他公司，那么请参考相应的参数说明书。

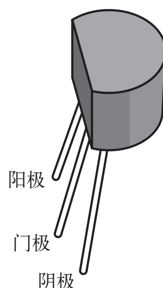


图 2-100 摩托罗拉公司和 On Semiconductor 公司生产的 PUT 的引脚功能

请注意，PUT 与 2N2222 相比，当二者起相同功能作用的时候，它们的塑料注模的扁平侧是朝着相反方向的。

在 PUT 的内阻降低到允许电流从“阳极”流向“阴极”之前，PUT 都是阻断电流通行的。从这一点来看，PUT 似乎十分类似于 NPN 型晶体管，但是让 PUT 降低内阻所需要的环境条件是十分不同的。PUT 的阳极上的电压决定了 PUT 何时允许电流流过。

举例来说，假定阳极的电压开始为 1 V，然后你让其缓慢增加。

在阳极电压接近 6 V 之前，PUT 晶体管都将一直保持为阻断状态。忽然接近 6 V 这个阳极电压将使内阻崩溃，电流将从阳极涌向阴极。如果电压往回减小，那么 PUT 晶体管将回复到它原来的状态，将电流阻断。

我给出了“开关上的手指”示意图的另一个版本，以说明这个概念。阳极上的电压本身负责按动按钮，以打开通向阴极的电流通路，见图 2-101。

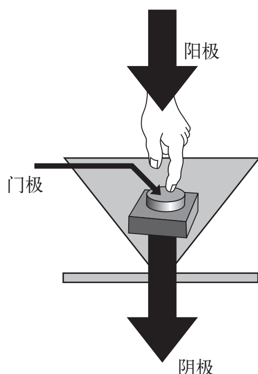


图 2-101　当 PUT 阳极上的电压超过阈值（由门极上的预设电压确定）时，电流就由阳极涌向阴极。这给人的感觉就像是，在门极控制电压的某种程度的协助之下，阳极电压自己按动按钮、打开了 PUT 内部的连接

现在你可能要问，门极是用来干什么的呢？你可以认为它是用来“协助”按钮上的手指的。实际上，门极是 PUT 的“可编程”部件。通过选择门极的电压，你就建立了电流开始流通的门槛点。

以下是一个简短的复习要点总结。

- ❒ 阳极必须比阴极更正，门极必须在这二者的极限之间。
- ❒ 如果阳极电压增加到超过了某个阈值，电流就从阳极涌入阴极。
- ❒ 如果阳极电压降低到阈值以下，PUT 晶体管就阻断电流。
- ❒ 你施加到门极上的电压决定了阈值有多高。
- ❒ 门极电压用两个电阻器来调节，如图 2-102 的简单电路原理图中的 R_1

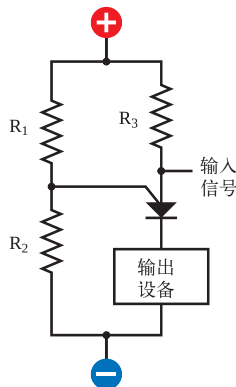


图 2-102　这个简单的电路原理图显示了如何使用 PUT。R_1 和 R_2 确定门极电压，也即设置阳极输入的阈值。当阳极的输入电压高于阈值时，电流就从阳极流向阴极

和 R_2 所示。典型情况下，每个电阻器都是大约 20 kΩ。为了保护 PUT，利用电阻器 R_3 用来防止全部的正电压加在 PUT 上，R_3 的数值通常较大，可以是 100 kΩ 或者更高，这是因为偏置 PUT 晶体管所需的电流很小。

- 你在阳极以正电压的形式加入输入信号。当它超过阈值时，电流就从阴极流出，可以让某些输出设备工作。

现在剩下的唯一问题就是我们如何才能让一个 PUT 振荡起来，以产生一个通 / 断脉冲序列。答案就在于你在实验 11 中搭建的面包板电路中的电容器。

第 1 步　低速振荡

图 2-103 是图 2-98 所示的 PUT 面包板电路的电路原理图，在绘制时我们使其布局与面包板尽可能地相似。

图中 15 kΩ 和 27 kΩ 的电阻器建立了门极的电压。470 kΩ 的电阻器给 PUT 的阳极供电，但是由于阳极开始时处于“断开”状态，隔断了电压。因此电压开始对 2.2 μF 的电容器进行充电。

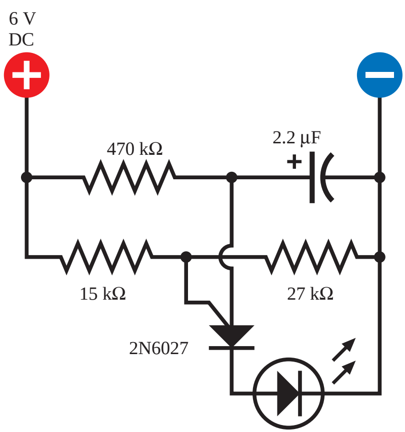


图 2-103　这个图使得我们能够较容易地看出在面包板电路中发生的事情

你也许还记得电阻器减慢了电容器聚集电压的速度。电阻器越大或电容器越大，电容器达到满电荷的时间就越长。在这个电路中，电容器大约需要半秒钟的时间达到接近 6 V 的电压。

不过请注意，PUT 是直接连接到电容器的。因此，电容器上聚集的电压也就是 PUT 承受的电压。随着电压的逐渐增加，最终达到阈值，从而将 PUT 翻转到“导通”状态。于是电容器马上通过 PUT 放电，放电电流通过 LED（它将闪烁）而到达电源的负侧。

放电的涌流将耗尽电容器的电荷；电压下降，PUT 回复到其原始的

状态，因此电容器又开始重新充电。整个过程将不断重复。

如果你使用一个 22 μF 的电容器来代替 2.2 μF 的电容器，那么充放电的周期将延长为原来的 10 倍，这将给你充足的时间来进行测量。将万用表设置在 DC 档，将探针放在电容器的两侧。你将真正地观测到电压不断增加，直到阈值为止，然后电容器开始放电，电压又下降回去。

这样一来，我们现在就得到一个振荡器。那么接下来该干什么呢？

第 2 步　快过视觉残余时间

如果你换上一个相当小的电容器，它将很快地充电，LED 将闪烁得更快。假定你使用的电容器是 0.004 7 μF 的（也可以表示为 4.7 nF）。这似乎是一个奇怪的数字，但却是一个标准的电容值。这个数值使电容值缩小了 500 多倍，因此 LED 的闪烁应该比原来快近 500 倍，也就是大约 1 000 次每秒。人眼无法检测如此快速的脉冲。不过，人的耳朵能够听到每秒 10 000 次以及更高的频率。如果我们用一个微型扬声器来代替 LED，我们应该可以听到振荡的声音。

在图 2-104 中，我给出了实现以上想法的方法。请保留原有的、闪

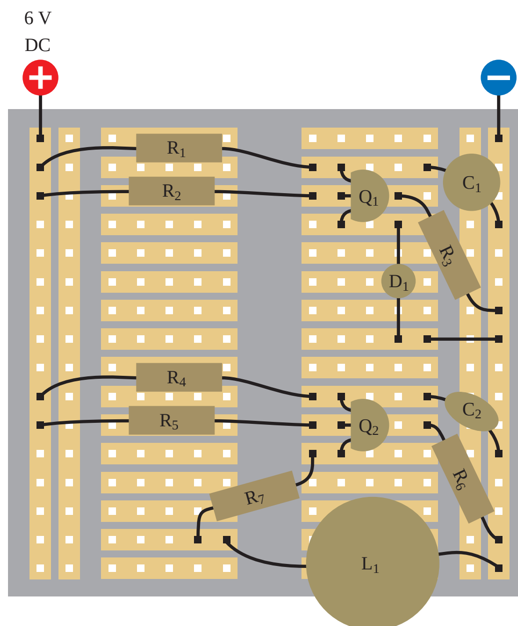


图 2-104　在面包板下半部增加的元件跟顶部的元件具有相同的功能，只是有些元件参数做了小小的修改

R_4：470 kΩ

R_5：33 kΩ

R_6：27 kΩ

R_7：100 Ω

C_2：0.004 7 μF

Q_2：2N6027

L_1：8 Ω、1 in 的扬声器

背景知识

扬声器的安装

扬声器的振动膜或者说锥形振膜是用来发散声音的。但是随着它前后来回振动，它的后侧也跟前侧一样发出声音。由于这两个声音在相位上是相反的，它们倾向于互相抵消。

如果你给扬声器装一个环绕它的管状的喇叭，来将前后发出的声音隔离开来，那么人们听到的声音就将显著增大。对于微型的 1 in 的扬声器，你可以将一张纸弯曲、卷绕起来围在它的周围，见图 2-106。

一个更好的办法是，将扬声器装在一个盒子里，让盒子吸收掉扬声器后部发出的声音。对于我们这个简单的实验来讲，我这里将不会介绍开孔音箱和低音反射音箱的设计细节。

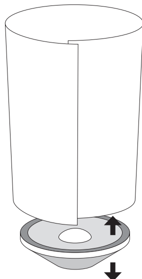


图 2-106　扬声器会在它的底面和顶面同时发出声音。为了使听到的声音增大，可使用一个纸板绕成的管子将两个声源分离，或者将扬声器装在小盒子中

烁缓慢的电路不动，在面包板的下部，将原电路复制一份，并根据图中的指示改动几个元件的参数。在图 2-105 的电路原理图中，电路的新增部分采用了黑实线显示，而原来的部分则用灰色线显示。

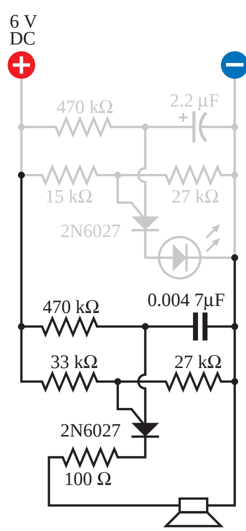


图 2-105　你原来搭建的部分电路显示为灰色，只有新增的部分是黑色显示

我要你保留慢速闪烁的电路，是因为我想在稍后再用到它。你可以任由 LED 在那里眨巴眨巴。

扬声器应该同一个 100 Ω 的电阻器串联，以限制从 PUT 流出来的电流。虽然扬声器装有一根红线和一根黑线，但它没有任何极性。无论你按哪个方向去连接都不会有问题。

开始的时候，你可能会有点失望，因为电路似乎根本不工作。然

而，如果你将耳朵贴近扬声器，并且电路的连线正确的话，你应该可以听到微弱的嗡嗡声，就像蚊子叫的声音。显然，这样小的声音无法满足任何实用目的。我们需要使它更大声。换句话说，我们需要将它放大。

也许你还记得在前面的实验中用过的 2N2222，它就可以起放大器的作用。下面就让我们来试试它。

第 3 步　放大

拆下扬声器和与其串联的 100 Ω 的电阻器。然后加入 2N2222，并通过一个 1 kΩ 的电阻器，将 PUT 的输出与 2N2222 联系在一起（其中电阻器用于保护，以防电流过大），见图 2-107。

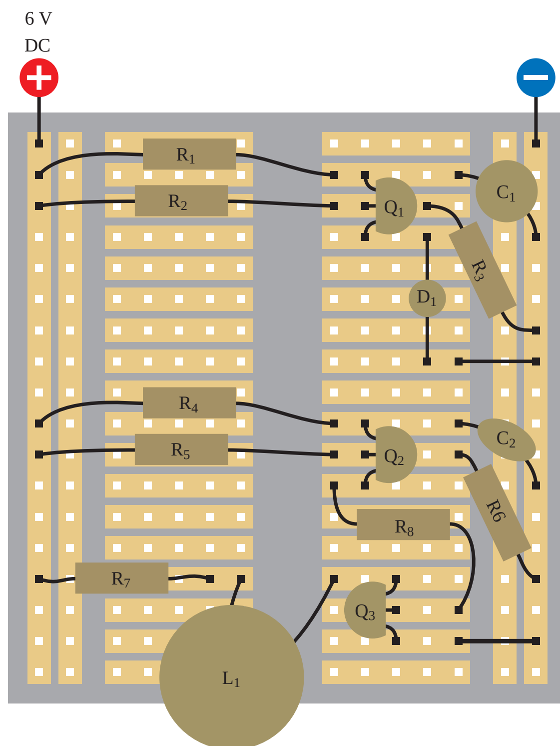


图 2-107　加入一个 2N2222 型通用晶体管 Q_3，将来自 Q_2 的信号进行放大。

R_8：1kΩ

Q_3：2N2222

图中其他元件的参数跟搭建这个电路的前一步的参数相同

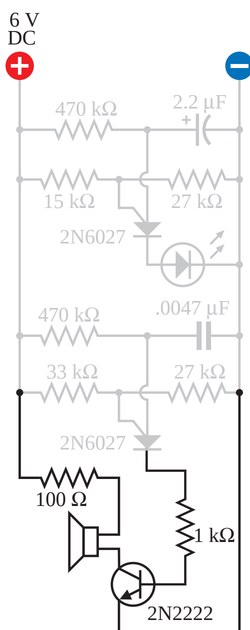


图　2-108

2N2222 的发射极连接到地，集电极通过扬声器及其 100 Ω 的串联电阻器接到电源。这样一来，PUT 上输出电流的微小波动被 2N2222 的基极感觉到之后，就会被转换成 2N2222 的集电极和发射极之间较大的电流波动，从而驱使扬声器发出较大的声音。请看图 2-108 的电路原理图。

现在的声音应该比一个昆虫的嗡嗡声要大了，但仍然没有大到可以实用的程度。该怎么办呢？

再增加一个 2N2222 会怎么样呢？双极型晶体管可以串联使用，以使第一个的输出进入第二个的基极。这样一来，第一个 24 : 1 的放大倍数就要乘上第二个 24 : 1 的放大倍数，得到一个大于 500 : 1 的总放大倍数。

这项技术存在一些局限性。2N2222 在过载之前能够通过的电流并不大，过大的放大倍数会导致畸变。不过，在我搭建这个电路的时候，我用万用表核实了电路仍然工作在 2N2222 的设计极限之内，而且对于这个项目来讲，我并不在乎声音稍微有点失真的问题。

如图 2-109 那样，加入第二个 2N2222 型晶体管 Q_4。

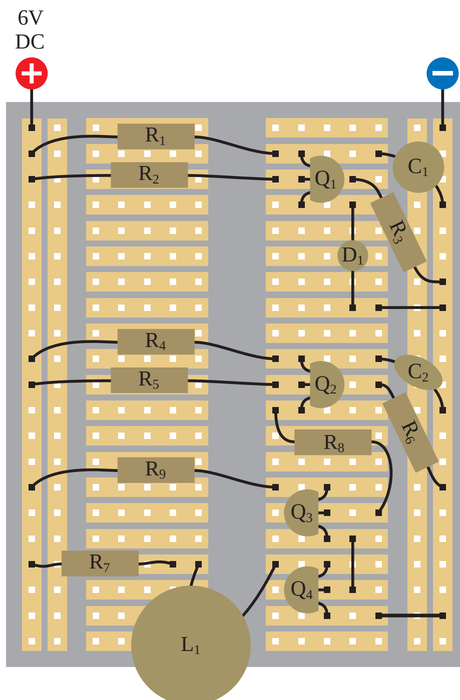


图 2-109　再加一个 2N2222 型晶体管 Q_4，将信号进一步放大。Q_4 接收来自电阻器 R_9（2.2 kΩ）的电流信号

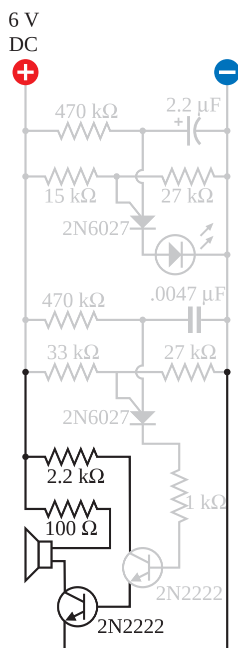


图 2-110　这个电路原理图跟图 2-109 的元件布局是基本一致的

图 2-110 是对应的电路原理图，跟以前一样，已有的电路用灰色表示，新增的电路用黑色表示。

如果电气元件的累积开始让你感到有点混乱的话，那么请记住电路的每一块都有一个独立的功能。我们可以绘制一个方块图来说明这一点，如图 2-112 所示。

使用第二个 2N2222 型晶体管 Q_4，你应该发现输出的声音可以听得更加清楚了（至少在你的微型 1 in 扬声器的范围之内是如此）。将你的手合拢成杯状，绕在扬声器周围来使声音定向传播，你会发现音量似乎增大了。你也可以试试 3 in 的扬声器，当其仍然保持在小小的 2N2222 型晶体管的极限之内的时候，3 in 的扬声器通常能够产生出更好听的声音。见图 2-111 以及图 2-106。

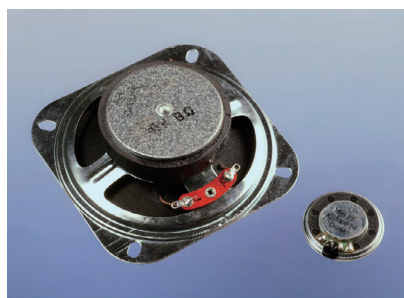


图 2-111　2N2222 型晶体管足以驱动 3 in 的扬声器，这么大的扬声器产生的声音要比 1 in 的扬声器的声音好

第 4 步　脉冲输出

如果你想将这个音频信号用作某种报警器，那么它那恒定、单调、嗡嗡的噪音是难以令人满意的。一阵一阵的脉冲式输出更容易引起人们的注意。

好啦，在你前面搭建的电路中，电路第一部分的作用是产生一个大约为每秒两次的脉冲信号，来让一个 LED 闪烁。也许我们可以去掉那个 LED，并将它的输出从电路的第一部分输入到电路的第二部分。图 2-112 的底部的框图解释了这个概念。

真的这样简单就可以达到我们的目的吗？嗯，我可以回答是，也可回答不是。还有一个窍门就是要让第一部分的输出和第二部分的输入兼

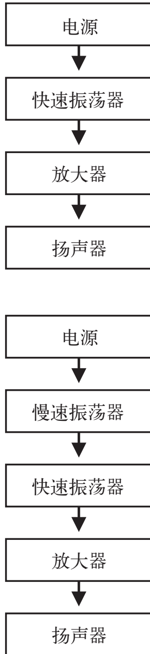


图 2-112　上部：产生噪音的振荡器电路的基本功能，用一个框图来显示。底部：同样的功能，加入了一个慢速的振荡器来控制快速的振荡器

容。如果你仅仅是简单地从第一个 PUT 的阴极连一根线到第二个 PUT 的阳极，那它不会工作的，因为第二个 PUT 已经在低电压和高电压之间以大约每秒 1 000 次的频率很好地振荡着，加入另外一个电压只会破坏振荡的平衡条件。

然而，请记住 PUT 的门极电压影响它导通的阈值。如果将 Q_1 的输出连接到 Q_2 的门极，也许我们就可以自动地调整 Q_2 的阈值了。不过，这个电压还是应该位于 PUT 可接受的阈值范围之内才行。我们可以试用不同的电阻器，看哪一个工作得较好。

这听起来有点像试凑法——事实上，它就是试凑法。就我而言，无论从哪个角度来看，通过计算来预测这种电路的行为是一项过于复杂的工作。我仅仅看了看制造商的参数说明书，看到了 PUT 能够允许的电阻器的阻值范围，并据此选择了一个电阻，它看起来能够工作。

如果去掉 LED，像图 2-113 所示的面包板示意图那样，用 R_{10} 来代替它，那么你将发现 Q_1 的波动输出使得 Q_2 发出了两种音调的信号。这已经很有趣了，但还不是我想要的。我所考虑的是，如果我使 Q_1 的脉冲输出不那么急剧陡峭的话，结果应该会更好。而让一个脉冲输出变平滑的办法是并联另一个电容，这个电容将在每一个脉冲开始的时候充电，而在每一个脉冲结束的时候放电。这就是图 2-114 中的 C_3 的作用所在，它最终完成了我们的电路，使电路发出嚯嚯的声音，几乎就跟“真的”报警器一样。

如果你根本没有得到任何的音频输出，请仔细检查你的接线。在面包板上很容易接错线，尤其是接到各个晶体管 3 条引脚的接线很容易搞错。使用万用表，将其设置在 DC 档，检查并确保电路的各部分相对于电源的负端具有正的电压。

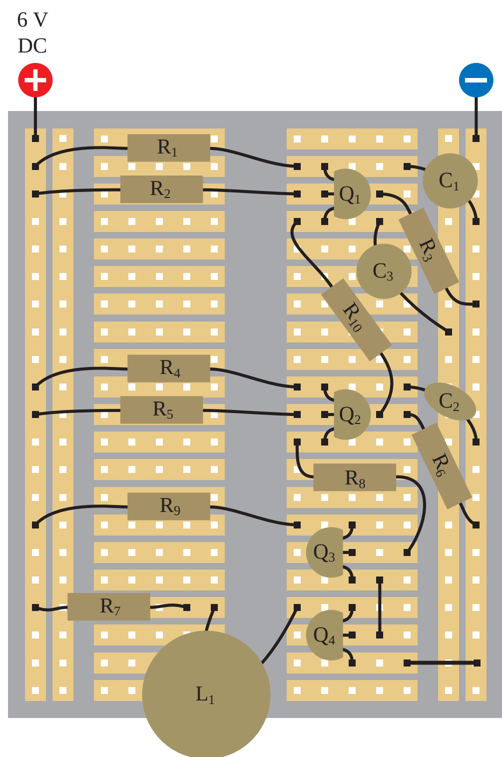


图 2-113　电阻器 R_{10} 将面包板顶部的慢速振荡器连接到面包板中部的 PUT——Q_2 的门极。在一个平滑电容器的配合下，这样的连接对音频振荡器起到了调制的作用

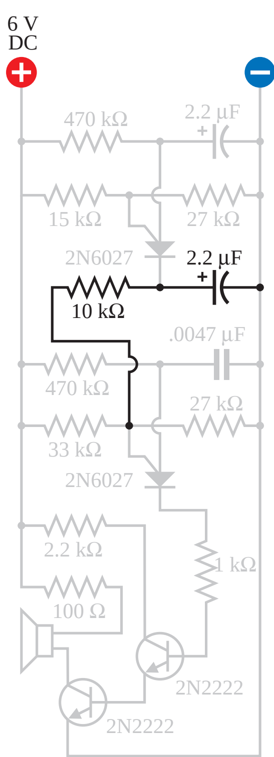


图 2-114　这个电路原理图跟图 2-113 显示的是同一个电路，其中

R_{10}：10 kΩ

C_3：2.2 µF

图 2-115 显示了你的电路在面包板上的实际样子。

调试

这里还有许多创新的空间。

- 调整声音的频率。使用较大或较小的电容器来代替 C_2（为现值的一半或两倍）。R_5 改用较小或较大的阻值。
- 调整脉冲特性。使用较大或较小的电容器来代替 C_1（为现值的一半或两倍）。R_2 改用较小或较大的阻值。
- 通用性能的调整。R_1 试用较大的阻值。C_3 试用较小或较大的数值。

❒ 试着在 7.5 V、10 V 以及 12 V 下运行电路。

本书提供的电路仅仅作为大家的一个起始点。你应该试着去调整每一个电路，使它们变成你自己的东西。只要你遵从用电阻来保护晶体管和 LED 的一般性规则，并满足它们对正电压和负电压的要求，就不太可能烧掉它们。当然，偶然事件还是会发生的——我自己就有点粗心，在搭建这个电路的时候烧掉了好几个 LED（仅仅因为我接反了 LED 的方向）。

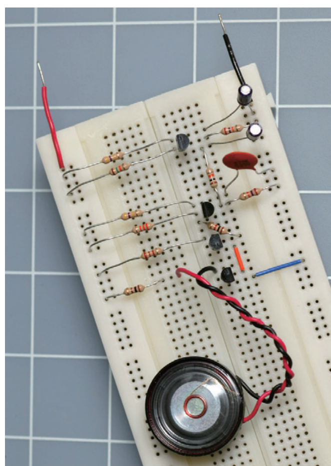


图 2-115 这个照片显示的是已经在面包板上完成的报警器音频电路

第 5 步 功能增强

噪音产生电路仅仅是报警器的一个输出电路，你还需要增强几样功能来使它变得真正有用。

(1) 需要某种入侵传感器。可否采用供窗户和门使用的磁性开关？

(2) 需要某种启动声音的方法，当某个传感器被触发时，可以启动声音。通常的做法是让一个很小却恒定的电流通过相互串联的所有开关。可以使用一个双掷继电器来实现这一点：平常当电路闭合的时候，继电器处于激磁状态；而当电路断开时，继电器被释放，其一对触点打开而另一对触点闭合，这会将电源送往噪音产生电路。

这个方法的问题在于，继电器长期处于激磁状态要消耗较大的电力，此外还会发热。我希望我的报警器处于“准备”状态时消耗很少的电流，这样才便于用电池来供电，因为报警器不应该完全依赖于家里的交流电源。

如果不用继电器，我们可不可以使用晶体管来代替它，在电源中断时开启电路的另一部分呢？这是绝对可以的！实际上，一个晶体管就可以完成这个任务。

(3) 那么，究竟如何在现场安装报警器呢？实际上，我们需要采取一个三步的程序。第一，要有一个小指示灯可供校验，当所有的门和窗关好的时候，它应亮起来。第二，要有一个按钮可供延时，当你离开时

按下按钮，它进行 30 s 的倒计数，让你有充足的时间离开（如果你希望这样的话）。第三，30 s 以后，报警器进入监控状态。

(4) 如果报警器被触发，会发生什么事情呢？如果某人强制打开一扇窗户，那么一旦窗户关闭以后，报警器会不会又停止报警呢？不应该的，报警器应该自锁，直到你将其关闭。

(5) 如何关闭它呢？通过小键盘输入某种密码比较合适。

(6) 但是，为了避免报警器触发后吵得人人发疯（当你不在场的时候），报警器最终应该自动停止发出报警声，也许可以让其在大约 10 分钟以后停止。之后它应该保持安静，不过应该点亮一个 LED 来告诉你发生了什么。然后你可以按下一个复位按钮，来断开 LED。

愿望清单的实现

我在上面汇集了一个愿望清单，它似乎可以使这个项目比目前复杂 5 倍。是的，这就是当你要超越小小的演示电路、想设计某种可以在日常生活中应用的东西时将要遇到的问题。你会忽然发现，你不得不去满足各种各样的环境和条件要求。

实际上，我能够也将要向你展示如何去完成愿望清单中所有的增强功能，但是我现在正在思考的一个问题是，做这些工作首先要求我们更加严肃认真地对待各种普通的电子实验项目。如果你雄心勃勃地要制作某样东西，那你肯定希望将它做得更耐久，也许还希望将它做得更紧凑，而不仅仅满足于做出一个将元件插在上面的面包板电路。

因此，你需要知道如何在模型电路板上，用焊锡将各种东西永久连接起来，以便你可以将它装在一个小巧的项目盒里，只让开关和指示灯露在外面。

在下一章中，我将介绍焊接和封装。然后再回过头来继续报警器的项目。

第 3 章　学点更重要的东西

本章内容

- 购物清单（实验 12 到实验 15）
- 实验 12　将两根导线接在一起
- 实验 13　焙烤 LED
- 实验 14　脉冲辉光
- 实验 15　侵入报警器的改版

我不清楚你自己希望在电气电子学中钻研多深，但我知道，我已经尽我所能地用少量的元件、一些导线、一块面包板以及几样工具来向你展示了尽可能多的电路实验。为了继续做实验，你需要以下的几样东西。

- 一些工具和备用品；
- 基本的焊接技能；
- 关于以下元器件的知识。
  - 集成电路；
  - 数字电子学；
  - 微控制器；
  - 电机。

这里的工具并不怎么特别难得或昂贵，焊接的技能也容易掌握。学会用焊锡将导线连接在一起要比精通某些高级的手艺（譬如制作珠宝或焊接珠宝）容易得多。

至于电气电子学中那些需要进一步掌握的知识，也并不比我此前介绍过的那些知识更难。

在本节结束的时候，你应该学会将面包板上的电路移植到模型电路板上，在模型电路板上将各种东西焊接起来，并将其安装在一个小盒子里，仅仅把开关和指示灯留在前面，供日常使用。

购物清单（实验 12 到实验 15）

工具

下面列出的每样工具，或者是必备的，或者是推荐的，或者是可选的，我都一一做了标注。标注为必备的工具在这一章里从头到尾都将用到。如果你将推荐的工具与必须的工作配合起来，那么这应该足以让你完成本书从头到尾的任务。可选的工具可以让你工作起来更加容易，但是否值得掏钱购买则由你自己来决定。请记住，制造商及货源的 URL 地址全部列在附录中，供你参考。

我假定你已经拥有了一些常用的基本修理工具，譬如电钻之类的东西。

必备：笔式 15 W 电烙铁



图 3-1　这个低功率的笔式电烙铁可以安全地用于敏感元件的焊接，你可以用其锋利的尖端有选择性地进行加热

例如 RadioShack 公司的 64-2051，McMaster-Carr 公司产品目录中的 7016A34，或者 Xytronic 公司的 252 型都可以。见图 3-1。比起 25 W 及以上的电烙铁来，额定功率 15 W 的电烙铁比较少见。然而，对于你将制作的小尺寸的电路来讲，15 W 的电烙铁是十分必要的，这可以大大降低因电烙铁发出过多热量而损坏元件的风险。

在比较价格时，不要忘记有镀层的烙铁头要贵一点，因为比起普通的铜烙铁头，它更耐用、更易于清洁、导热更可靠。如果制造商的参数没有提及烙铁头镀层的问题，那么它的烙铁头可能就没有镀层。

必备：普通工况的电烙铁，30 ～ 40 W

尽管本书的大多数实验项目所牵涉到的都是小的、对热较敏感的元件，导线也比较细，但有时也需要针对较大的元件或较粗的导线进行焊接。在这种情况下，15 W 的电烙铁将无法发出足够的热量。你必须考虑买一个较大的电烙铁作为备用，其实相对来说它们也并不贵。

就个人来讲，我比较喜欢图 3-2 所示 Weller 公司的速热电烙铁，因

为它有一个专门的按钮，可以根据需要来提供更多的热量。当你希望电烙铁快速热起来的时候，或者当你焊接很粗的导线的时候（它将吸收很多的热量），这个功能十分有用。



图 3-2　这个高功率的电烙铁提供了更多的热量，可用于粗线或较大的元件的焊接。由于经常使用，它很快就会变色，但只要其尖端是干净的，就不会影响电烙铁的使用效果

如果你找不到或者根本就不喜欢 Weller 公司的东西，那么几乎任何 30 W 或 40 W 的电烙铁都是可以的。去 eBay 或者你附近的五金店铺看看吧。

必备：焊接帮手

所谓的焊接“焊接帮手”（或“第三只手”）具有两个弹簧夹，在你焊接的时候，它们可以将元件或者导线固定在精确的位置上。有些版本的焊接帮手还拥有更多的特征，譬如有放大镜，有金属螺线管来放置电烙铁，有小海绵来清洗变脏的烙铁头等；这些附加特征也是很值得拥有的。焊接帮手可以来源于所有电子学爱好者的元器件供应处。例如 Elenco 公司产品目录中的 HH55，RadioShack 公司的 64-2991 等，见图 3-3。



图 3-3　这个焊接帮手装有两个弹簧夹，用以固定焊件。其上的金属螺线管用来放置烧热的电烙铁，海绵则用来清洗电烙铁的尖端

必备：放大镜

无论你的眼睛有多好，当你在模型电路板上检查焊点时，一个小小的手持式高倍数放大镜仍然是必备的。图 3-4 所示的三透镜组是专门为近距离观察设计的，比起焊接帮手上的大透镜来功能更为强大。图 3-5 所示的可折叠透镜可以立在工作台上，将你的手解放出来。这两种放大镜都可以在 RadioShack 公司买到，类似的东西在艺术品商店以及电子学

爱好者商店都可以找到。只要小心使用，塑料材质的透镜也可以接受。



图 3-4　只要小心使用，买一个廉价塑料材质的放大镜组也是完全可以接受的。手持放大镜对于检查面包板上的焊点是必不可少的

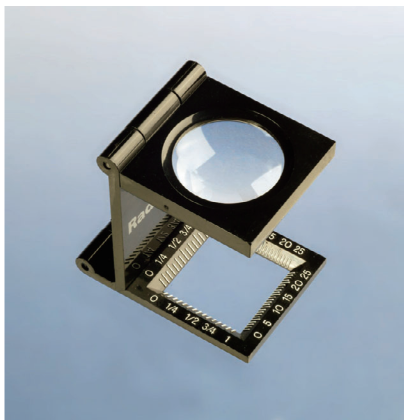


图 3-5　这种可折叠的放大镜能够立在桌子上，对于查看微小元件的产品型号十分有用

必备：测试引线钩

使用万用表所带的探针来进行测量时，要求你在读数的同时用手来保持其与电路的接触。这要占用你两只手，使得你无法同时做其他的事情。

如果你使用的是端部有小弹簧夹的“微型钩子”探针，你就可以将万用表的公共（负）引线固定在电路的负端，并留在那里不管，而让万用表的正探针去接触（或固定在）电路的其他地方。

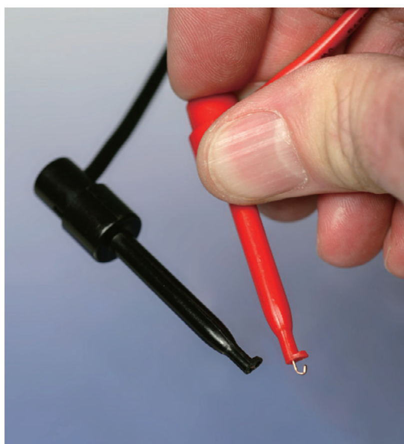


图 3-6　这样的“微型钩子”装在万用表的引线上使得电压、电流的测量变得更加容易。按下弹簧加载的按钮，就有一个小铜钩滑出来。将钩子钩在导线上，再放开按钮，你的手就解放了，可以做其他事情。万用表不提供这种钩子作为标准配置的原因实在是很神秘

图 3-6 所示的 Pomona 公司 6244-48-0 型引线钩正是你所需要的，可以从 Meter Superstore 公司或其他供应商处购得。如果你找不到或者觉得它的价格太贵，那你

可以考虑自己制作：买一对适合你的万用表插孔的“香蕉插头”（例如 RadioShack 公司的 274-721），然后用 16 号线规或者更粗的股线来连接插头与 IC 测试夹（例如 Kobiconn 公司的 13IC331 测试夹或者 RadioShack 公司出售的产品型号为 270-372C 的“微型钩夹”）。见图 3-7 和图 3-8。



图 3-7　为了制作自己的“微型钩子”万用表引线，需要先将一个香蕉插头连接到导线上，具体的方法是这样的：让导线滑过帽子，进入插头里面，并从侧面的一个孔里伸出来



图 3-8　然后在伸出来的部分导线上旋上一个套管，再旋上帽子。导线的另一端要焊接到一根探针上

必备：热风枪

在把两条线焊接在一起之后，你往往还需要对它们进行绝缘。电工胶带，有时也称作绝缘胶带，是很差劲的东西，很容易就粘不住了。你需要使用热缩管，它会在裸露的金属接点周围形成安全、永久的保护层。为了使这种管子收缩，需要使用热风枪，这个东西很像一个大功率的电吹风。热风枪在任何五金供应处都可以买到，我建议你购买你能找到的最便宜的。见图 3-9。



图 3-9　热风枪很像大功率的电吹风，它用于将包在裸线表面的热缩管转变成一层紧密的绝缘层

必备：吸锡泵

在你焊错想要去掉焊点的时候，这个小玩意儿可以帮助你吸走高温、熔化的焊锡。可以购买 All Electronics 公司产品目录中的 SSR-1 或 RadioShack 公司的 64-2086，见图 3-10。

必备：吸锡芯

也称吸锡带，见图 3-11。与吸锡泵一起使用，用来吸走锡。可以购买 All Electronics 公司产品目录中的 SWK 或 RadioShack 公司的 64-2090。



图 3-10　吸锡泵。为了去掉焊点，你可以加热焊点上的焊锡直到其熔化，然后将其吸入到这个可以挤压的橡胶球里



图 3-11　吸锡带。移去熔化焊锡的另一个办法是将其吸到这个铜带中去

必备：微型螺丝刀

微小的电子部件中往往有微小的螺丝在里面。如果你用错了起子的尺码，就可能会弄坏螺丝的头部。我喜欢图 3-12 所示的 Stanley 公司的起子套装，产品型号是 66-052。任何的起子套装，只要其中包含有小的 Phillips 十字起子和一字起子就可以。

推荐：烙铁架

就像枪套一样，烙铁架是用来放置烙铁的，当烙铁很热但又不使用时，就需要放置在烙铁架上。可以购买 All Electronics 公司的产品目录中的 50B-205，RadioShack 公司的 64-2078，或到 eBay 上去找相应的产

品。见图 3-13。这个烙铁架也可以组合在焊接帮手上，但你需要多一个烙铁架来放置第二个电烙铁。



图 3-12　一套小起子是必须的



图 3-13　另备一个安全而简单的烙铁架，用于放置热的电烙铁

推荐：微型手锯

我设想你也许想把完成的电子项目放入一个像样一点的盒子里。因此，你可能需要对塑料进行切割、整形、去掉薄塑料边的工具。例如，你可能需要割一个方孔，以便安装方形的电源开关。

电动工具不适合用于制作这种精致的东西。微型手锯（也称“业余爱好者锯”）是切除一样东西的多余边角的最佳工具。X-Acto 公司生产各种微型锯片。我建议购买 #15 的锯片，外加一个与之相配的手柄，如图 3-14 所示。这可以从 Tower Hobbies 公司、Hobbylinc 公司、ArtCity 公司及许多其他的工艺 / 手工用具供应处得到。同时也请你找找较大的 X-Acto 锯片（#234 或 #239），这可以用来切割模型电路板。



图 3-14　X-Acto 公司生产多种小型锯片，用来在塑料板上切割方孔以安装元件十分合适

推荐：微型台钳

微型台钳可以做焊接帮手做不了的事。当我锯小片塑料的时候就使用微型台钳；当我要在一片模型电路板上做各种活计时，会用微型台钳来固定它，见图 3-15。



图 3-15 这个 1 in 的台钳可以从 Mc Master-Carr 的产品目录中找到

要买铸铁的台钳，尺寸为 1 in 或更大一点。可以到 Megahobby 公司、eBay 或其他工艺 / 手工工具供应处购买。还可以考虑 Pana-Vise 的台钳，它有一个倾斜的头部，使得你可以任意角度转动你的工作对象。

推荐：打磨工具

打磨工具可以很快地使任何粗糙的边角（例如锯过或钻过后的塑料的边角）变得光滑或变成斜角，它还可以使孔稍微扩大一点。这些功能是很有必要的，因为有些元件是按米制制造出来的，它们不适用于用美国钻头钻出来的孔。你附近的五金店也许没有打磨工具出售，不过这种东西在 Sears、McMaster-Carr、KVM Tools 或 Amazon 上都很便宜，见图 3-16。



图 3-16 这个精巧的打磨小工具，其安全刀刃的端部有一个圆弧形的隆起。只需简单一划，它就可以去掉用锯切割出来的粗糙边角，它也可以用来扩孔（如果孔已经差不多够大，但还差那么一点的话）

可选：手摇锥头钻

锥头钻用来将螺丝孔的入口处扩大成一定的锥度，以利旋进平头的螺丝。如果你将锥头钻的钻头安装在电钻上，那么当你对薄而软的塑料进行加工时，将无法进行精确控制。

像起子一样用手抓住和旋动的手持锥形钻很容易找到，但是用于手摇的、用起来很快速的锥形钻却不多，我只在 McMaster-Carr 找到一款（产品目录项是 28775A61）。它附带一套钻头，如图 3-17 所示。

可选：勾掘套装

Stanley 公司生产的，产品型号为 82-115，可以从 Amazon 和其他五金店买到。你也可以少花几美元，找到进口的仿制品，见图 3-18。



图 3-17 手摇锥头钻。你像摇动手摇曲柄一样摇动这个手摇锥头钻，给孔的开口处加上适量的斜度，以利平头螺丝旋入



图 3-18 这个勾掘套装在很多意想不到的方面都十分有用

可选：游标卡尺

这个东西似乎有点奢侈，但用于测量圆东西的外径（例如测量开关或电位器上的螺纹）或孔的内径（开关或电位器的螺丝的安装孔）却很有用。

我喜欢三丰（Mitutoyo）公司生产的游标卡尺，其中的低端型号 505-611（见图 3-19）可以完成我所需要的所有测量。你应该可以找到更便宜的牌子，但是从长远来看，在精确测量工具上面省钱也许不是一个聪明的做法。制造商的网站将向你展示它们所有型号的游标



图 3-19 游标卡尺有数字的（可以自动将 mm 转换成 1/64 in 或 1/1 000 in），也有像图中这种模拟的（这样你就无需担心电池用完的问题）

卡尺，然后你在 Google 上搜索“Mitutoyo”就可以找到零售商的信息。

备用品

焊锡

熔化焊锡可以将元件永久性地连接在一起（我们希望如此）。你需要一些特别细的焊锡（0.022 in），用于很小的元件，以及一些较粗的焊锡（0.05 in），用于较大的元件。要避免买水管工用的焊锡或者用于宝石工艺的焊锡。图 3-20 所示为几种粗细的焊锡。购买时请确保是无铅的焊锡。



图 3-20 不同粗细的焊丝卷

电子焊锡有一根无酸的松香芯，这才适用于电子元件的焊接。各种电子爱好者的元器件供应处，包括 All Electronics 公司、RadioShack 公司以及 Jameco 公司，都可以买到成卷的焊锡，另外也可以在 Amazon 上找“electronic solder”（电子焊锡）。

导线

你需要一些绞合线来同你所搭建的电路进行外部灵活连接。要找 22 号线规的绞合架空线，包括红色的、黑色的和绿色的，每种最少 10 ft。

如果在完成实验 15 的项目之后，你想要安装这个入侵报警器的话，那么你需要白色绝缘的双导体线，就是用于门铃或炉子控制的那种。这在各地的 Lowe’s 店、Home Depot 店、Ace Hardware 店或类似的店铺里都可以买到。在你测量了你要安装的磁性传感器开关之间的距离以后，就可以决定买多长的线了。

热缩管

与前面介绍的热风枪一起使用。你需要多种尺寸的热缩管，颜色可以自选。见图 3-21。请选用 RadioShack 公司的 278-1627，或选用其他电子供应商及当地的五金店里的产品。这种东西的价格差别很大，你可

以选用最便宜的。

铜弹簧夹

在你焊接微小的元件时，可以用铜弹簧夹来吸收热量。Mueller 公司的 BU-30C 是一种大尺寸的铜弹簧夹，可以吸收最大的热量。RadioShack 公司售卖较小的夹子（产品型号为 270-373，如图 3-22 所示），适用于微小元件。


图 3-21 热缩管。将热缩管滑动到裸露的焊点上，然后用热风枪加热，以在焊点周围产生一个紧密的绝缘密封


图 3-22 在你焊接元件时，这些小夹子可以吸收热量，保护元件

模型电路板

当你准备将电路从面包板移植到更为永久的位置时，你需要将其焊接到一片**模型电路板**上，这种板也称作**样机电路板**，或简称**多孔板**。

你需要的是在背面蚀刻有铜条的那种，它应该跟隐藏在面包板内部的导体具有完全相同的“面包板布局”，这样一来，在你将元件焊接到上面时，就可以让元件保持原来的布局。例如，RadioShack 公司的 276-150（如图 3-23 所示）

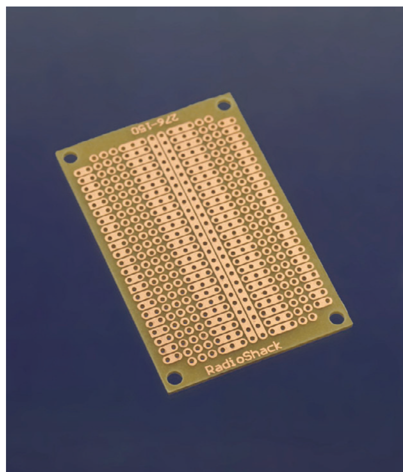


图 3-23 这个模型电路板的铜迹走线的样式跟面包板内部的类似，因此当你准备制作永久焊接版本的项目时，在布置元件时产生错误连线的风险就最小

可用于较小的项目，276-170（如图 3-24 所示）可用于较大的项目（像实验 15 这样的项目）。

对于特别小的项目，你将只使用导线来连接元件，就不需要那种蚀刻有铜条的来连接孔的模型电路板。在这种情况下，我喜欢 Twin Industries 公司的 7100 系列的板（可以从 Mouser.com 买到），或 Newark Electronics 公司的 Vectorboard 板（如图 3-25 所示）。你可以按自己所需大小用锯割下一块。较便宜的选择有 RadioShack 公司的 276-147（见图 3-26）或 All Electronics 的 PC-1。对于我们的目的来讲，那种每个孔里有小铜圈的板并不必要，但也不会引起什么问题。

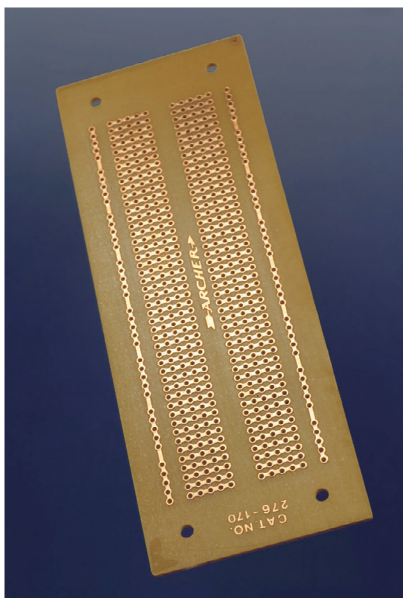


图 3-24 具有面包板形状、较大尺寸的模型电路板例子

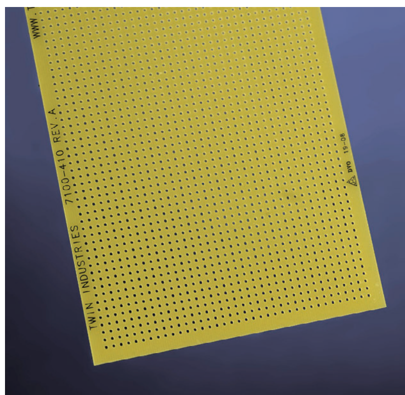


图 3-25 光面的模型电路板（没有铜迹走线）可用在需要进行点对点焊接导线的场合来安装元件

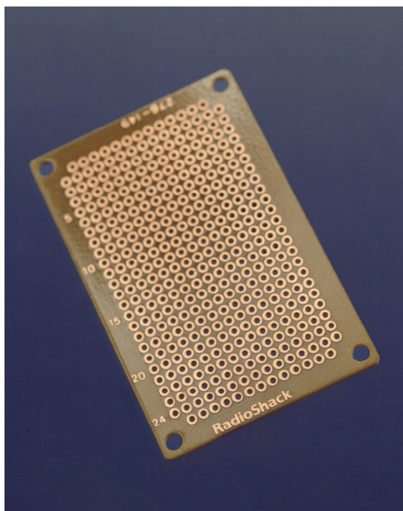


图 3-26 一小块模型电路板，其每个小孔都有铜的小焊盘，有助于元件的安装

胶合板

在你使用电烙铁时，一滴滴滚热的焊锡可能会掉落在你的桌子或实验桌上。焊锡几乎在一瞬间就凝固了，而且很难去掉，还会留下一个疤。可以考虑使用一块 2 ft 见方、0.5 in 厚的胶合板来提供一次性的保护。你可以在 Home Depot 或 Lowe’ s 等店铺买到已经切割好的胶合板。

机器螺丝

为了在屏后面安装元件，你需要小机器螺丝（或螺钉）。要那种平头的，看上去很美观，并且平头能够紧挨着屏面。我建议大家购买不锈钢的机器螺丝，要 4 号大小的，长度为 0.5 in、0.625 in、0.75 in 以及 1 in，各 100 个，外加 400 个垫圈，400 个 4 号锁紧螺帽（带尼龙嵌入的，以防在工作中松动）。可以在 McMaster-Carr 上找数量大、价格合理的购买。

项目盒

项目盒就是一个小盒子（通常是塑料的），具有可揭掉的盖子。你在盒子上钻孔，以安装开关、电位器、LED 等，再把你的焊接了电路的模型电路板放在盒子里面。请在 All Electronics 公司的网站上搜索“project box（项目盒）”，或者在 RadioShack 公司的网站上搜索“project enclosure（项目外壳）”。

你需要的项目盒大约为 6 in 长，3 in 宽，2 in 高，例如 Radio Shack 公司的 270-1805 就可以。任何类似的盒子都可以满足要求。我建议你再买几个其他尺寸的，以备将来之用。

元件

电源插头、插座以及接线柱

当你完成了一个项目，并将其放入项目盒中时，就需要一个方便的方法来给其提供电源。你需要买一对绝缘的接线柱，例如 RadioShack 公司的 274-661，如图 3-27 所示。还需要买一个屏上安装的电源插孔，N 号尺



图 3-27　这种端子也称接线柱，可以与绞合线端部进行无焊接连接。也有黑颜色的

寸的，例如 RadioShack 公司的 274-1583，以及直流电源插头，N 号尺寸的，例如 RadioShack 公司的 274-1573。图 3-28 所示为插头和插孔配对的照片。

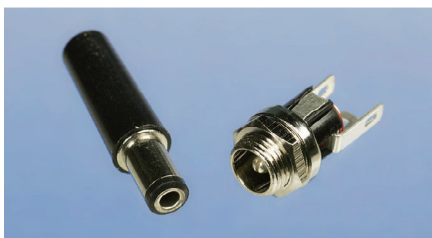


图 3-28 右侧的是插孔，可以安装在项目盒上，从左侧的插头接受电源

最后，你还需要互连接头，它们将安装在模型电路板上，尺寸应满足模型电路板上钻出的 1/10 in 间隔的孔排的要求。这种互连接头有时称**单列直插插座和插头**，也称作**板装插座与针脚插头**，往往有多达 36 个针脚甚至更多，你可以按所需的数目剪下。例如 Mill-Max 公司的 800-10-064-10-001000 和 801-93-050-10-001000，或者 3M 公司的 929974-01-36-RK 以及 929834-01-36-RK。你可以从一般的电子元件供应商处买到。图 3-29 显示了剪断前和剪断成小段后的针脚插头。请确保互连接口的端子间隔是 0.1 in。

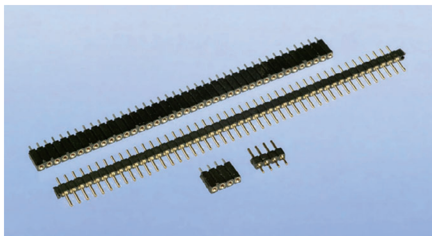


图 3-29 单列直插插座（上面）和插头（中间）使得我们可以在模型电路板上进行十分紧凑的插接连接。它们可以锯断、切断和折断成小段（底面）。我们所要的端子间隔是 0.1 in

电池

当你完成了实验 15 之后，如果想将这个项目进行实际应用，就需要一个 12 V 的电池。在网上搜索“12 V 电池”，你将发现很多密封的、可充电铅酸电池，它们是专为报警器系统设计的，有些尺寸只有 1×2×3（单位为 in），价格低于 10 美元。你还需要为它配一个充电器，价格大约为 10 美元。

开关和继电器

你需要在第 2 章的购物清单中提及的同样的双刀双掷继电器、同样的单刀双掷触摸开关。

在实验 15 中，你还需要磁性开关，用于门或窗户，例如 Directed 公司的 8601，可以从很多网上供货处得到。

此外，你还需要一个双刀双掷按钮开关，ON-(ON) 型的，要带焊接端子的。例如 Tyco 公司的 MPG206R04，或 NKK 公司的 MB2061SS1W01-RO（另有盖子供选用）。也可以在 eBay 搜索“DPDT pushbutton（DPDT 按钮）”。

二极管

至少买 6 个 5 mm 的红色 LED，额定电压大约为 2 V，例如 Optek 公司的 OVLFR3C7，Lumex 公司的 SSL-LX-5093IT，或者 Avago 公司的 HLMP-D155。同时再购买 6 个类似的绿色 LED。

此外，你还需要一个信号二极管，型号为 1N4001（任何牌子都可以）。图 3-30 是一个例子（放大了很多倍）。它们很便宜，可能在将来还会用到，因此买 10 个吧。



图 3-30　这个 1N4001 型二极管大约为 0.25 in 长，可以处理高达 50 V 的电压

扬声器

为了完成实验 15 的项目，你需要一个足够小的扬声器，必须能够装在你的项目盒里面，但是其声音必须比你以前使用的 1 in 的扬声器要大才行。其直径可能需要 2 in 或者 2.5 in（50 ～ 60 mm）。如果你能够找到一个 100 Ω 的扬声器，那将有更大的输出。8 Ω 的也可以接受。

实验 12　将两根导线接在一起

你的焊接冒险开始于将一根导线连接到另一根导线这样一个平凡的任务。不过很快你就将在模型电路板上建立一个完整的电子电路。现在就让我们开始吧！

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 30 W 或 40 W 的电烙铁。
- ❒ 15 W 的铅笔式电烙铁。
- ❒ 细焊丝（0.022 in 或类似的）。
- ❒ 中等尺寸的焊丝（0.05 in 或类似的）。

- 剥线器、钢丝钳。
- “焊接帮手”设备，用于固定你的工件。
- 热缩管，整套装的。
- 热风枪。
- 用以保护你的工作区域免受滴落的焊锡的伤害的东西。



电烙铁变热了！

请特别注意以下几点。

- 使用恰当的烙铁架（例如组合在焊接帮手上的那种）来放置电烙铁。不要将电烙铁放在实验桌上。
- 如果你有小孩或宠物，请记住他们有可能把玩或抓拉那根连到电烙铁的电源线。这将伤害到他们或者你自己。
- 注意永远不要将火热的烙铁头放在给烙铁供电的电源线上。烙铁头将在几秒之内熔化掉塑料，引起严重的短路。
- 如果你掉落了电烙铁，千万不要做英雄、试图去抓住它，否则你很可能会抓到热的一端而伤到自己（这是我的经验之谈）。当你烧到手之后，你将本能地丢下烙铁，因此，与其烧到手后再丢弃它，还不如直接让它落到地上。自然，在它落地以后，你应该尽快将它捡起来，因为这时已过了足够长的时间，你肯定会理性地去抓冷的一端。
- 请永远记在心上，你房间的其他人比你更容易被电烙铁弄伤，因为他们不知道它是热的。大多数的电烙铁并无警示灯来告诉你它是插在电源上的。作为一条一般性的规则，请永远假定电烙铁是热的，即使没有插在电源上也是如此。它保持火热状态的时间比你想象的更长，从而可能会伤害到你。

第一个焊点

我们将从通用的额定功率为 30 W 或 40 W 的电烙铁开始用起。插上电源，将它安全地放在烙铁架上，在开始的 5 分钟里，找点别的事情做吧。如果你不给电烙铁以足够长的时间充分加热，就用它来焊接东

西，就得不到良好的焊点。

剥掉两根 22 号线规的实心线的端部绝缘，并将它们夹在焊接帮手上，让它们彼此交叉、彼此接触，如图 3-31 所示。

为了确定烙铁已经准备好了，请试着用烙铁头去熔化一根细焊丝的端部。焊丝应该立马熔化。如果它熔化得很慢，说明烙铁还不够热。

现在按以下步骤进行操作（如图 3-32 到图 3-36 所示）。

(1) 确保烙铁头干净（如果有必要，请用焊接帮手底座上的湿海绵擦一擦），然后将烙铁头稳定地靠在导线的交叉点上大约 3 s，对其加热。如果你家里使用的是硬质自来水，那么请使用蒸馏水来弄湿海绵，以防烙铁头上结垢。

(2) 让烙铁继续保持在该位置不动，同时往导线的交叉点送入一小点焊锡，该焊锡也应该接触到烙铁头。这样一来，两根导线、焊锡以及烙铁头就聚到了同一点。再过大约 2 s，焊锡应该在导线的四周散布开来。



图 3-31　在图中，焊接帮手将两根导线夹起来，使它们剥开的端部接触在一起。上面安放的放大镜已经被移开了

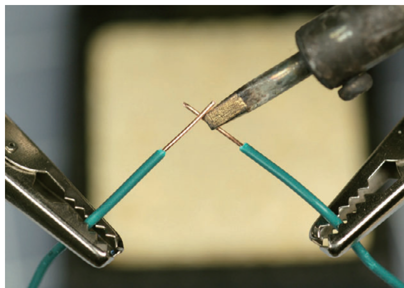


图　3-32

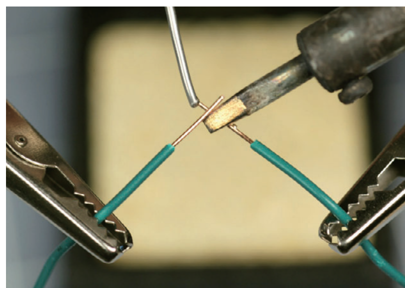


图　3-33

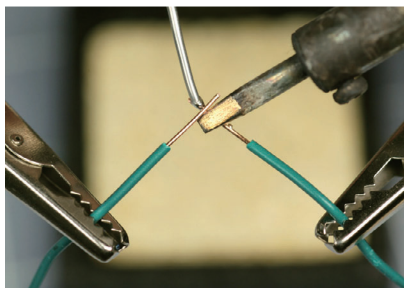


图　3-34

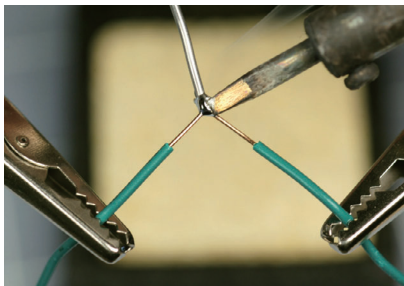


图 3-35　本图以及前 3 个图展示了完成一个焊点的 4 个步骤：给导线供热；维持供热的同时放入焊锡；等待焊锡熔化；等待更长一点时间让其形成一个完整的熔珠。整个过程持续大约 4 s 到 6 s

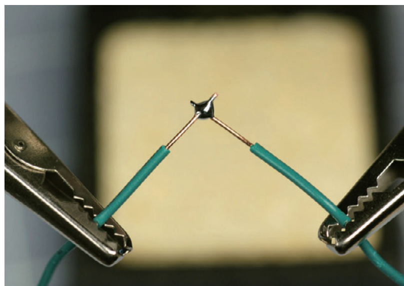


图 3-36　完成的焊点应该闪亮、均匀且呈圆球状

(3) 拿走烙铁和焊锡。在焊点上吹气使之冷却。10 s 内，它应该冷到可以触摸。

(4) 从夹子上松开这两根导线，试着将它们拉开。要用大一点力气拉！如果你用最大力气也没有拉开，那么两根线在电气上就是连接好的，并且能够保持这种连接状态。如果你的焊点焊得不牢靠，那么你会相对比较容易将它们分开。焊得不牢靠的原因可能是你施加的热度不够或者用的焊锡不够。

我之所以让你先学习使用较高功率的电烙铁，是因为它能够输出较多的热量，因而更容易使用。

背景知识

关于焊接的荒谬说法

荒谬说法 #1　焊接很难

数以百万计的人学会了焊接，从统计学的角度来讲，你身体的协调能力不大可能比其中所有的人都差。我有一个持久性的问题，就是双手颤抖，这使得我没法将东西拿稳。此外我对于重复性的具体工作很容易感到厌烦。像我这样的人都能够焊接元件，因此几乎所有的人都应该可以。

荒谬说法 #2　焊接牵涉到有毒的化学物质

现代的焊锡不含铅。你应当避免长时间吸入烟气，对日常生活

中的油漆、漂白剂等也应如此。如果焊接是一件严重有害健康的事情，那么我们应该在几十年前就可以看到电子学爱好者们的高死亡率。

荒谬说法 #3　焊接很危险

电烙铁的危险性低于熨衣服使用的电熨斗的危险性，因为电烙铁发热量更低。实际上，依我的经验，焊接比在大多数典型的家庭作坊或地下车间里进行的大多数活动还要更加安全。

焊接的替代方案

一直到 20 世纪 50 年代，收音机之类电子产品内部的连接仍然是靠工人在生产线上用手工焊接来完成的。但是随着电话交换应用的增长，人们需要一种快速的方法，来大量建立快速、可靠的点对点的连接，因而使得**绕线连接**成为一种重要的选择。

在绕线连接的电子项目中，元件安装在一种电路板上，从这种电路板的后部伸出很多很长、镀金、尖角的方形针脚。使用特制的镀银导线，其端部剥掉了 1 in 的绝缘层。一个手动的或电动的绕线连接工具将该导线的端部快速地扭绕在某一根针脚上，靠所施加的足够应力来使具有柔软银镀层的导线“冷焊”在针脚上。绕线连接过程产生的应力很大，形成的连接十分可靠，特别是在缠绕 7 匝到 9 匝的时候，每一匝都将接触到针脚的 4 个角。

在 20 世纪 70 年代和 80 年代，这个连线系统被构建家用计算机的爱好者们所采用。图 3-37 所示是一台手工建造的计算机的绕线连接的电路板。NASA 应用这一技术制造了探月飞船阿波罗号上的计算

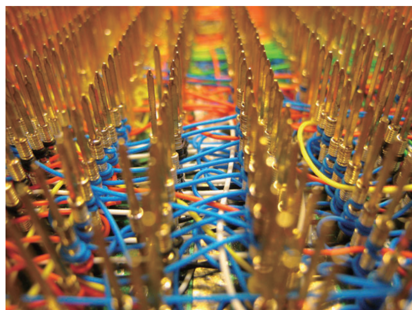


图 3-37　这个照片是 Steve Chamberlin 定制的、具有落后的 8 位 CPU 的计算机的绕线连接的一部分。回到那个时代，要是用焊点来连接这样一个导线网络的话，那将是极端耗时和极易出错的（本照片由 Steve Chamberlin 拍摄）

机，不过在今天，绕线连接已经很少有商业应用了。

通孔元件（例如早期台式计算机中的芯片）在工业上的广泛使用，导致了波峰焊技术的发展。在这种焊接技术中，波浪或瀑布一样的熔化焊锡施加到预热过、已经插好芯片的电路板的底面一侧，并利用一种屏蔽技术来防止焊锡粘到不需要焊锡的地方。

如今的表面安装元件（它们比相应的通孔版本要小得多）是用焊锡胶来粘贴到电路板上的。组装好之后，再整体加热，使胶熔化以达到永久的连接。

工　具

焊接中最常犯的8个错误

(1) 不够热

焊点看起来还可以，但由于没有施加足够的热量，焊锡没有熔化到使内部分子结构重排的程度。焊锡保持颗粒状态，而不是坚固、均匀的一团，你得到的将是一个“干点”，也称“冷焊点”，当你用力拉拽两条导线时，它们就分离了。请重新彻底地加热焊点，并加入新的焊锡。

焊锡不够热的一个最可能原因，就是想用电烙铁把焊锡搬运到连接点去。这样一来，冷的导线就会降低焊锡的温度。正确的做法应该是先用电烙铁接触并加热导线，然后再送入焊锡。使用这种方法，导线是热的，它可以帮助粘连导线的焊锡熔化。

由于这是很常见的一个问题，因此我再重申一次：永远不要在烙铁头上熔化焊锡，再将焊锡搬运到连接点去。

不要将热的焊锡放在冷的导线上，而应该将冷的焊锡放在热的导线上。

(2) 过热

这也许不会伤到焊点，但却会毁掉附近的每样东西。聚乙烯的绝缘层会融化，使导线暴露，增加短路的风险。这样也很容易毁坏

半导体元件，甚至会使开关和接头内部的塑料部件熔化。

毁坏的元件必须脱焊并予以替换，这既要时间，也很可能成为一场苦战（请阅读“工具：脱焊”寻求帮助）。

(3) 焊锡太少

两根导线之间的连接面太小的话，可能会不太牢靠。当两根导线焊接好后，总是应该检查焊点的下方，看焊锡是否完全透到下面。

(4) 在焊锡凝固前移动焊点

这有可能产生一个你不愿意看到的裂缝。它也许不会使你的电路停止工作，但在未来的某个时候，由于振动或热应力的作用，裂缝可能分得足够开而断开电气连接，那时找出它的踪迹就成了一项让人很厌烦的事情。如果在焊接之前先将元件夹住，或者使用模型电路板来安装元件，你就可以避免这个问题。

(5) 灰尘与油污

电工焊锡中含有的松香可以使焊接的金属得到清洁，但是污物仍然能够阻断焊锡的粘连。如果有元件看起来很脏，那么在焊接之前请先用细砂纸清洁一下。

(6) 烙铁头上的黑碳

使用的过程中，烙铁会慢慢积聚星星点点的黑碳，它们会阻断热量的传递。用烙铁架或者焊接帮手底座上的小海绵来清洗你的烙铁头。

(7) 材料使用不当

电子焊锡专为电子元件设计，不适合铝、不锈钢和其他许多金属的焊接。你也许可以用它来焊接镀铬的东西，但是要困难一点。

(8) 每样测试焊点

不要假定焊点是好的。个个焊点都要测试，只要可能就应该用手拉拽来测试（见图 3-38 和图 3-39 的示意图），如果无法用手把焊点猛地拉开，那么可以将螺丝刀尖放到焊点下面，轻轻撬动一下，或者用一把小钳子试着拉一拉。不要担心这会毁坏你的作品。如果你的焊点不能经受住这样粗暴的对待，就不是一个好焊点。

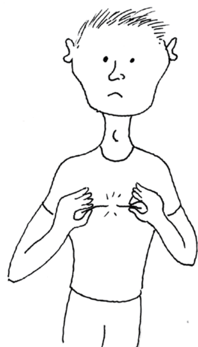


图 3-38 坏焊点的测试结果

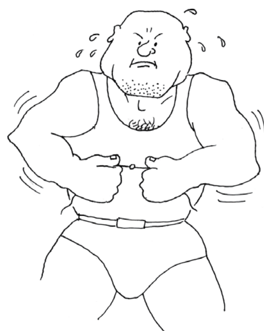


图 3-39 好焊点的测试结果

在这 8 个常犯的错误中，干 / 冷焊点是最坏的，因为它们很容易出现但看起来却是好的。

第二个焊点

现在该用你的笔式电烙铁了。同样，你必须先将其插上电源，放上 5 分钟来使其足够热。与此同时，不要忘记拔掉其他的电烙铁，并将它放在一个安全的地方让它冷却。

这一次我要你将导线平行放置。按这种方式，将它们焊接到一起要比交叉的时候困难一点，不过这也是一项必要的技能，否则你将无法套入热塑管来对完成的焊点进行绝缘。

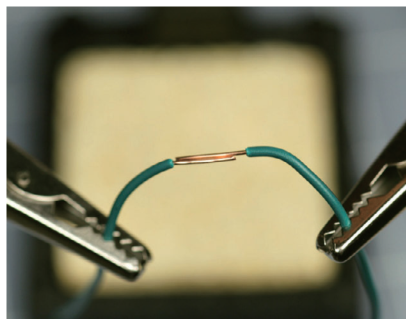


图 3-40

图 3-40 到图 3-44 显示了这种焊接的一个成功例子。两根导线不一定彼此完美接触，焊锡结填充了二者之间的任何细小的间隙。然而，导线必须足够热，便于焊锡的流动，在使用低瓦数的笔式电烙铁时，这需要多花几秒。

确保按照图中所示的样子送入焊锡。请记住：不要试图用烙铁头来将焊锡搬运到焊接点。先要加热导线，然后让焊锡接触导线以及烙铁

头，并同时保持烙铁头与导线的接触。等到焊锡液化，然后你会看到它急切地流进连接点。如果没有出现我说的这种情况，那么你要更加耐心一点，加热时间更长一点。

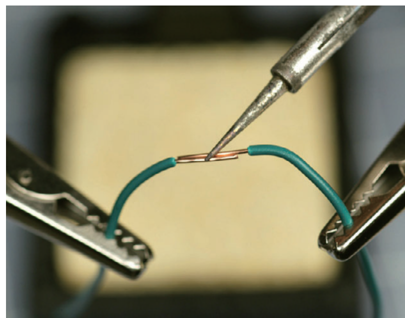


图 3-41

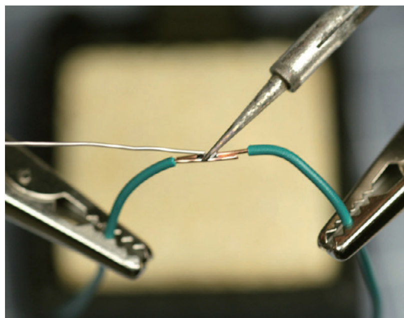


图 3-42

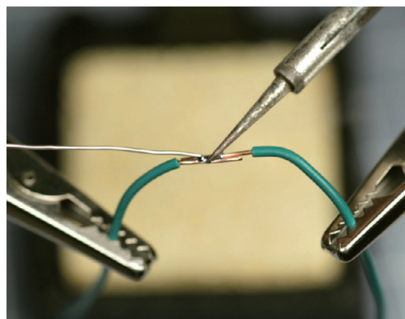


图 3-43 本图以及前面的 3 个图显示了如何将两根平行的导线焊接在一起，这比交叉的情况更难。低瓦数的笔式电烙铁需要更长的时间来加热导线，这样才能得到良好的焊点。可以使用较细的焊锡

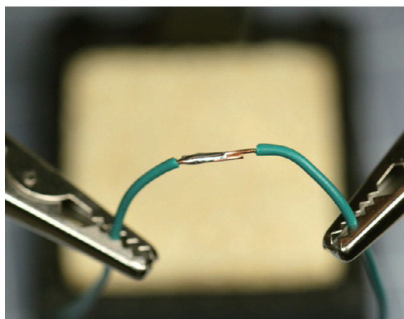


图 3-44 所完成的焊点有足够的焊锡，足以应付外力的拉扯，但又没有多到影响热塑管的套入

理论知识

焊接理论

你对焊接的过程理解得越好，就越容易焊接出良好的焊点。

烙铁头是热的，你需要将那里的热量传递到需要焊接的地方。在这种情况下，你可以认为热量就像液体一样。烙铁与焊接点的接触面积越大，每秒流过接触点的热量就越大。

基于这个原因，你应该调整烙铁的角度，以使其尽可能多地接触焊接点。如果它只是在一个很微小的点上接触导线，你就会限制流过的热量。图 3-45 以及图 3-46 展示了这个概念。一旦焊锡开始熔化，它就会扩大接触面积，从而帮助传递更多的热量，因此焊接过程自然得到加速。可以说这是窍门所在。

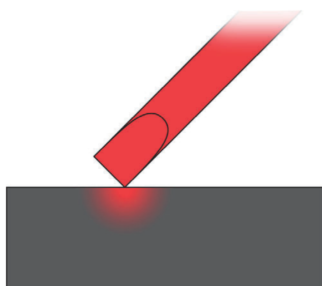


图 3-45　烙铁和工作面之间只有很小的一点接触，传递的热量不足

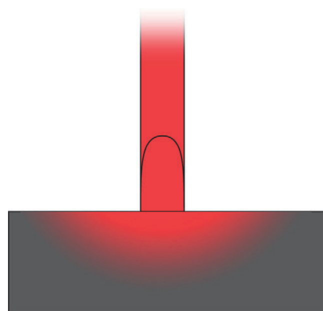


图 3-46　烙铁和工作面之间的接触面很大，将大大增加热量的传递

另一个你需要考虑的热量流动因素是，周围环境可以把热量从需要热量的地方吸走，并把热量送到不需要热量的地方。如果你是在焊接一根很粗大的铜线，接点有可能永远也得不到足够的热量来熔化焊锡，因为粗大的铜线把热量从接点盗走了。你可能会发现即使一支 40 W 的电烙铁也未必能够解决这种问题。如果做的是大件东西，你可能需要一支更加强劲的电烙铁。

作为一条一般性的规则，如果你用 10 s 都完不成一个焊点，那么就应该是热量不够。

工　具

脱焊

脱焊要比焊接困难得多。有两样简单的工具可用来脱焊。

❐ 吸锡泵。首先，你要用电烙铁来使焊点的焊锡液化；然后你用这个简单的工具来吸走尽可能多的液体。通常它无法去掉足够的焊锡，因此你还不能将焊点拉开，所以你还得使用下

一个工具。请参考前面的图 3-10。

- ❐ 吸锡带或吸锡芯。这是同一样东西的不同名称，它是专门用来从焊点吸走焊锡的，不过它也无法使焊点完全清理干净，因此你将陷入试图用两只手来拉开元件，同时还要施加热量来防止焊锡固化的窘境。请参考前面的图 3-11。

对于脱焊我没有太多的建议。这是一种令人感到挫折的经历（至少我是这样想的），并且会无可挽回地毁坏元件。



热风枪也变烫了!

要注意热风枪工作端的那一段镀铬的钢管。钢要比塑料贵，因此制造商在这个地方用它肯定有其原因——这原因就是通过它空气变得特别热，能够使塑料管熔化。

在你用完之后的几分钟内，这个金属管仍然热得足以烧伤你。就跟电烙铁的情况一样，其他人（以及宠物）是易受伤害的，因为他们未必知道热风枪是热的。最重要的是，要确保你家里的任何人不要错把热风枪当成电吹风来用（见图3-47）。

这个工具比起它的样子来更加危险。

加入绝缘

当你成功地在两根导线之间完成了一个良好的直线焊点之后，剩下来的事情就容易了。选择一根热缩管，它只需比焊点稍大，能够套在上面并留出一点余地就够了。

套上热缩管，使焊点位于其中间位置，将其放在你的热风枪前面，打开热风枪（手指远离超热的空气流）。转动导线，以便两面都能受热。热缩管应该在半分钟内缩紧在焊点的四周。如果加热过度，它可



图 3-47　你家里的其他人应该明白，尽管热风枪看起来像电吹风，但是外表是骗人的

能缩得太多以致裂开，那样的话，你就不得不除掉它重来。一旦热缩管已经紧紧环绕在焊点周围，你的工作就完成了，没有理由对其继续加热。图 3-48 到图 3-50 显示了完成的结果。我使用了白色的热缩管，因为它在照片中显示得更加清楚。不同颜色的热缩管起的作用都相同！

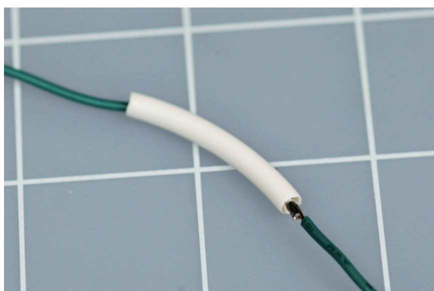


图 3-48　将热缩管套在你的焊点上

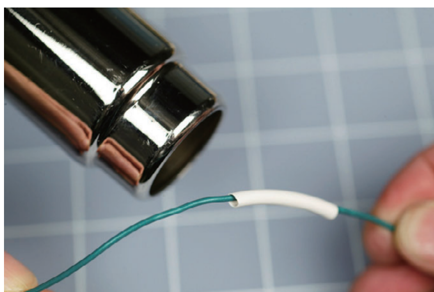


图 3-49　对热缩管加热

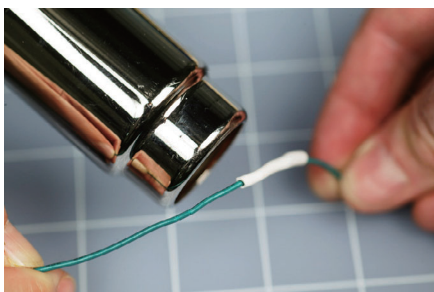


图 3-50　将热量集中在热缩管上，直到它紧紧缩在焊点上为止

我建议接下来将你的焊接技能施展到几个实用的项目上。在第一个项目中，你可以将彩色编码的实心导线加到交流适配器上，而在第二个项目中，你可以将一个笔记本电脑的电源线缩短。你可以用较大功率的电烙铁来完成这两项工作，因为这两个项目都没有牵涉到任何热敏感的元件。

改造交流适配器

在上一章中，我提到了无法将交流适配器插入面包板孔中的烦恼。下面就让我们来解决这个问题。

(1) 剪两条 22 号线规的实现导线——一条红色的和一条黑色的（或蓝色的）。每条都要求大约 2 in 长。每条线的两端都要剥去 0.25 in 的绝缘层。

(2) 修整交流适配器上的导线。你需要使其暴露出一些新的、干净的铜来，以尽可能地增大焊锡粘上去的机会。

我建议一根导体要长于另一根，以减少裸露的端部接触、短路的机会。如果你对哪一根导体是正的存在疑问，请使用万用表，将其设置到 DC 档，测试一下就知道了。

像在前面的实践环节中所做的那样，焊上导线，并套上热缩管。最终的结果应该跟图 3-51 一样。

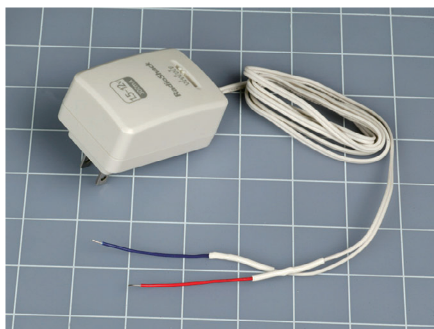


图 3-51 实心的彩色编码导线焊接到交流适配器的导线上之后，就可以方便地给面包板供电。请注意导线的长度不同，以减少它们碰到一起而短路的危险



选择正确的热缩管

如果是在110 V的交流电源线上使用热缩管，就跟我们的实验所做的一样，请确保你用的热缩管的额定电压是110 V的。

改短电源线

外出旅游时，我喜欢一切从简。我的笔记本电脑的电源线有 4 ft 长，这使我十分恼火。给计算机供电的细线也是 4 ft 长，我实在不需要这么长的线。

大量搜索之后，我没能找到一条短于 3 ft 的笔记本电源线，因此我决定自己动手，将它缩短。即使你觉得没有必要这么做，也应该找一条旧的延长电缆来尝试同样的步骤，以作为练习。你确实有必要经历这些步骤，以便对粗大的绞线的焊接以及对热缩管的使用积累些实践经验。

(1) 用钢丝钳剪断导线，然后使用万用刀将两根导线劈开，使一根比另一根短。当拼接电源线或者类似的包含两根或多根导体的电缆时，要尽量避免焊点彼此相对在一块。焊点相隔一段距离的话，组合在一起也更整洁，这时如果有一个焊点坏了，短路的危险也更小。

(2) 剥掉尽可能少的绝缘层，1/8 in（3 mm）足够了。我在第 1 章的购物清单中提及的自动剥线器特别方便，不过普通的剥线器也一样可以完成这项工作。

(3) 剪两段热缩管，每段 1 in 长，大小以能够套在电缆线分开的支线上为宜。另外再剪一段 2 in 长的较大的热缩管，在焊接完成以后，它将套在全部焊点的外面。到此为止的步骤见图 3-52 到图 3-58。



图 3-52

(4) 接下来是难度最高的部分：激活你的记忆。你必须记住，要在焊接之前将热缩管套在导线上，因为导线端部的插头使得你在以后没有办法再套热缩管了。如果你跟我一样缺乏耐心，那么每次你都很难记住要做到这一点。



图 3-53



图 3-54

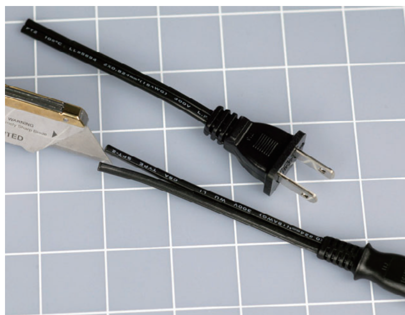


图 3-55



图 3-56



图　3-57



图 3-58　图 3-52 到图 3-58 展示了在缩短笔记本电脑电源线时，焊接之前的准备工作

(5) 使用焊接帮手对齐第一个要焊接的点。将两根导线按压在一起，使各股绞线互相混合在一起，然后在大拇指和其他手指之间用力挤压它们，保证没有小股的铜丝钻出来。在热缩管加热变软、围绕焊点收缩的时候，这种杂乱突出的绞股线会刺穿热缩管。

(6) 你现在要焊接的导线比你以前焊接的 22 号线规的导线重得多，因此它将吸收更多的热量，你也必须让烙铁在它上面接触更长的时间。确保焊锡沿着各个方向流向焊点，并在焊点冷却之后检查下方的情况。你很有可能会在下方发现一些裸露的铜股线。连接处应该变成一个很坚固的、圆状的、发亮的凝块。在使用烙铁的时候，应该让热缩管尽可能远离连接点，以免烙铁的热量使热缩管过早收缩，妨碍后面将其移动到焊点上。

(7) 当焊点冷却以后，将热缩管移动到焊点上，用热风枪来使其收缩。然后再对另一根导线重复同样的步骤。最后，将较大的那根热缩管移动到焊点上。在开始的时候你没有忘记套上大的热缩管吧。

图 3-59 到图 3-65 显示了从头到尾的各个步骤。

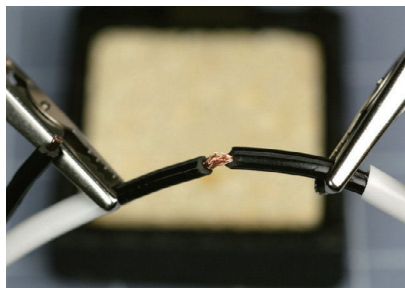


图　3-59

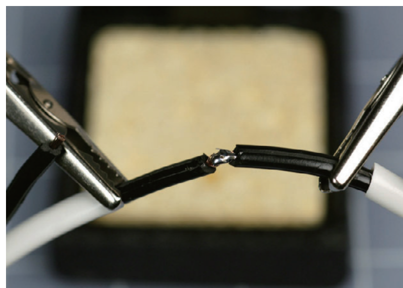


图　3-60



图 3-61

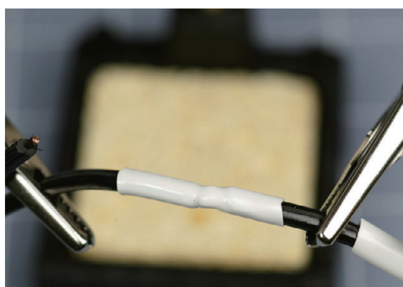


图 3-62

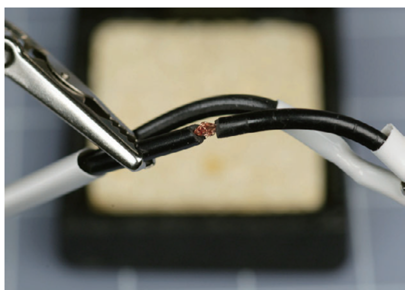


图 3-63

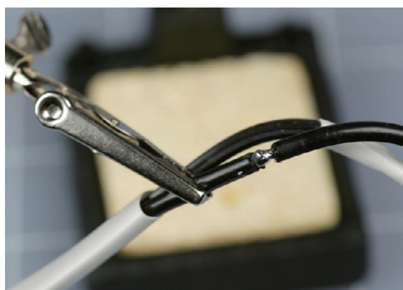


图 3-64

如果现在你已经完成了这个焊接练习，那么你就已经掌握了足够的基本技能来焊接你的第一个电子电路。不过首先我要你来验证一下元件在热方面的脆弱性。



图 3-65 已经缩短的笔记本电脑电源线

实验 13 焙烤 LED

在第 1 章中，你看到了如果 LED 通过太大的电流，它就会损坏掉。电流产生热量，是它使 LED 熔断的。毫不奇怪，你只需将电烙铁靠在 LED 的引脚上，把过多的热量施加到 LED 上，就可以轻易地使 LED 熔断。但问题是：多大的热量算过多呢？让我们来找出答案吧。

以下是你需要的东西。

- ❒ 30 W 或者 40 W 的电烙铁。
- ❒ 15 W 的笔式电烙铁。

- ❐ 两个 LED（这应该是消费得起的）。
- ❐ 680 Ω 的电阻器。
- ❐ 钢丝钳和尖鼻钳。
- ❐ 焊接帮手，用以固定工件。

我不希望你用弹簧夹将 LED 连接到电源，因为弹簧夹会从电烙铁吸收一部分热量并将其散布到其他地方。请用尖鼻钳将 LED 的每个引脚弯曲成小钩子状，将 680 Ω 电阻器的引脚也做同样的处理。最后将交流适配器上的新导线弯曲起来，也做成小钩子的形状。接下来像图 3-66 那样，将钩子彼此钩在一起，形成一条链环。

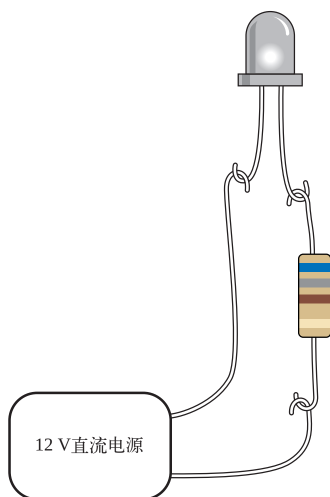


图 3-66 用引脚互相勾搭的方式，将电阻器、白光二极管等连成闭合电路，使实验中热量逃逸的路径减到最小

用焊接帮手抓住 LED 的塑料部位。塑料导热不良，所以焊接帮手不会从我们的研究对象中吸走太多的热量。将电阻器挂在 LED 的一个引脚上，再将交流适配器的导线挂在电阻器下方的引脚上。地球的引力很大，这一点应该能够成功。跟以前一样，将交流适配器设置在输出 12 V 电压的位置，再插上电源，这时 LED 应该很亮。在这个实验中我之所以使用白光 LED，是因为这样容易拍照片。

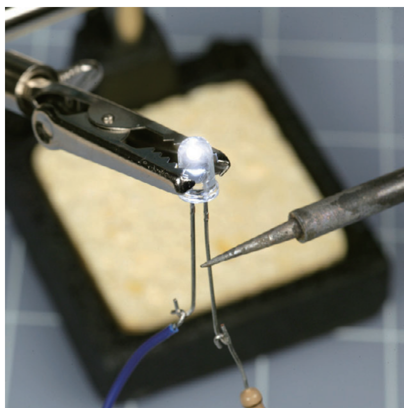


图 3-67 用一个 15 W 的电烙铁来加热。典型的 LED 在这种处理下，一般只能承受 2 ～ 3 分钟，但若改成 30 W 的电烙铁，LED 很可能在 15 s 内就会烧掉

请确保你的两支电烙铁真的热了。它们至少应该先在电源上插 5 分钟。下面请拿起笔式电烙铁，将其头部紧靠在正在发光的 LED 的一个引脚上，同时用一个手表来计时。图 3-67 为相应的实验装置照片。

我敢打赌，你肯定可以让电烙铁一直保持这样的接触整整 3 分钟而不会烧掉 LED。这就是为什么我要你用 15 W 的电烙铁来焊接贵重的电子器件的原因——它不会危害到元件。

让你的 LED 引脚冷却，并跟前面一样，用功率更为强大的电烙铁接触 LED 的同一个引脚上。同样要保证电烙铁是已经完全加热了的。我认为你将看到 LED 最快会在大约 10 s 后熄灭（需要注意的是，有些 LED 比另外一些能够耐受更高的温度）。这就是不能用 30 W 的电烙铁来焊接精密电子器件的原因。

大的电烙铁未必就会比小的达到更高的温度。只是它具有更大的热容量，换句话说，更多的热量能够以更快的速度从它里面流出来。

丢掉烧坏的 LED。换上一个新的 LED，连接方法跟前面一样，只不过要在 LED 的某个引脚上靠近 LED 本体的地方夹一个大尺寸的弹簧夹，如图 3-68 所示。将你那 30 W 或者 40 W 的电烙铁的烙铁头紧靠在弹簧夹下方的引脚上。这一次你应该可以让这个强劲的电烙铁在这个地方呆够 2 分钟而不会烧掉 LED。

想象热量从你的电烙铁的头部流出，进入到 LED 的引脚上（只是在流向该引脚的途中，热量会遇到弹簧夹），如图 3-69 所示。弹簧夹就像一个等着填充的空容器，它的热阻要比引脚连接

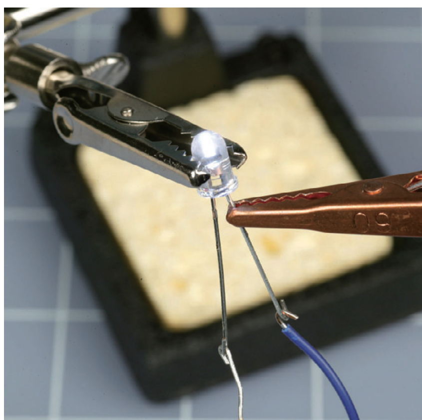


图 3-68　当使用铜质弹簧夹作为热宿时，你应该可以在夹子的下方使用 30 W 的电烙铁而不会毁坏 LED

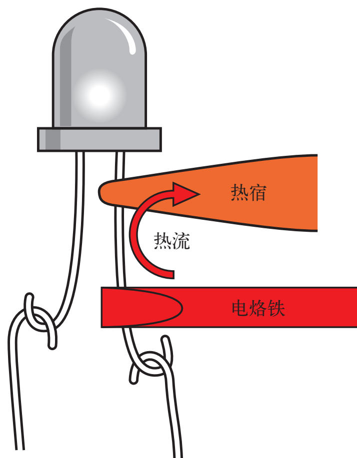


图 3-69　热宿截取了热量，将其吸收，从而保护 LED 免遭破坏

的 LED 部分的热阻小得多，因此热量更喜欢往铜夹子流，从而使 LED 不会受到伤害。在实验结束以后，如果你用手摸一下夹子，你将发现夹子是热的，而 LED 则相对较凉。

人们将这种用途的弹簧夹称作热宿（热阱），它应该用铜来制造，因为铜是最好的导热体之一。

15 W 的电烙铁没有伤害到 LED，你也许会由此得出 15 W 的电烙铁绝对安全、无需使用热宿的结论。这也许是对的，但问题是，你实际上并不知道，比起 LED 来，是不是有某些半导体对热会更加敏感。由于烧坏元件的后果相当令人气恼，因此我建议你要保险行事，在以下情况下要使用热宿。

如果将 15 W 的电烙铁置于某个半导体器件特别近时，并且时间达到或者超过了 20 s。

如果你将 30 W 的电烙铁置于电阻器或者电容器的近处达到或者超过 10 s（永远不要将其用于半导体器件）。

如果你将 30 W 的电烙铁置于任何可熔化东西的近处达到或超过 20 s。可熔化的东西包括导线上的绝缘层、塑料连接器、开关内的塑料部件等。

散热的规则

(1) 大尺寸的弹簧夹效果更好。

(2) 将弹簧夹夹在尽可能靠近元件、远离焊点的位置（因为你不希望它从焊点吸走太多的热量）。

(3) 要确保弹簧夹和导线之间的连接是金属对金属的连接，以提升热传输的效果。

基础知识

模型电路板

在本书的剩余部分中，当你需要搭建永久性的焊接电路时，都将使用模型电路板。使用模型电路板有 3 种方法。

(1) 点到点的接线。使用孔之间没有连接的那种模型电路板。这种板有两种，一种是根本没有任何铜迹的（如图 3-70 所示），另一

种板的每个孔都是由小的圆铜圈构成的（如图 3-71 所示）。这些孔彼此之间没有连接，仅仅用于固定你要安装的元件。

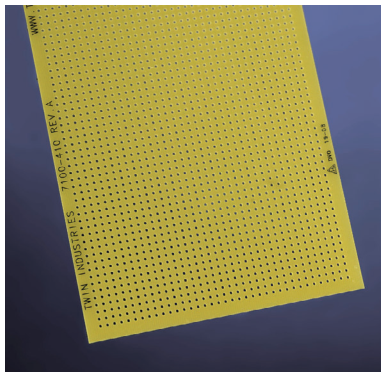


图 3-70

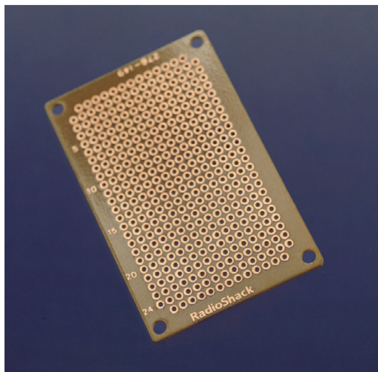


图 3-71 图 3-70 和本图所示的两种模型电路板都可以用于实验 14 的点对点的接线

点到点的接线使得你可以方便、紧凑地放置元件，并且电路的布局可以十分接近电路原理图。在板的下面，你用弯曲的导线来连接元件，并将它们焊接在一起，如果需要，你还可以加长导线。这种系统的优点是可以做得特别紧凑。缺点是布局可能比较混乱，容易导致错误。

(2) 面包板式的接线。所用的模型电路板具有印制的铜线，这些走线的布局跟面包板内部的导体的布局完全相同。如果你的电路能够在面包板上工作，你只需将元件一个一个地移到模型电路板上，保持元件彼此之间的位置精确不变。然后你将元件的“脚”跟铜质的走线焊接在一起，从而完成电路。最后再把引脚多

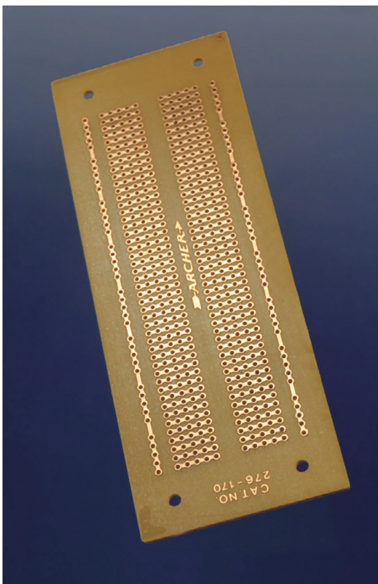


图 3-72 蚀刻有类似面包板布局的铜走线的模型电路板。这个板适合于在实验 15 中使用

余的部分剪掉。这个方案的优点是快速，几乎不要做什么规划，出错的可能性最小。其缺点是浪费空间。图 3-72 是一块廉价的这种模型电路板。

(3) 你可以蚀刻自己的电路板，上面有你定制的铜质走线，把元件点对点地连接起来。这是最专业的完成项目的方法，但它需要更多的时间，会遇到更多的困难，也需要使用更多的设备，在本书中使用不太实际。

点对点的接线就像使用弹簧夹来接线一样，只不过是在一个小得多的比例尺度上进行的。我们的第一个焊接项目将使用这种接线方式。

实验 14　脉冲辉光

以下是你需要的东西。

- ❒ 面包板。
- ❒ 15 W 的笔式电烙铁。
- ❒ 细焊丝（0.022 in 或类似的）。
- ❒ 剥线器和钢丝钳。
- ❒ 普通的模型电路板（无需蚀刻铜线）。
- ❒ 小台钳或夹钳来固定模型电路板。
- ❒ 电阻器，各种阻值。
- ❒ 电容器，电解型的，100 μF 和 220 μF 各一个。
- ❒ 红色 LED，5 mm 的，额定电压约 2 V。
- ❒ 2N6027 程控单结晶体管。

你应用 PUT 的第一个电路是一个低速振荡器电路，该电路使 LED 每秒闪烁大约两次。那种闪烁看起来很“电子的”——LED 在亮与灭两个状态之间切换时没有一个逐渐过渡的过程。我一直在想，我们能不能修改一下以前的这个电路，使 LED 发出的光脉冲更加轻柔、更加有趣，就像 Apple 的 MacBook 笔记本电脑处于“休眠”模式时的指示灯一样。我也在想，如果这样的东西足够小、足够精致，它也许可以作为装饰品戴在人们身上。

同时我也认为，这第一个焊接项目会达到 3 个目的。它将检验和提高你焊接导线的技能，教会你如何在模型电路板上进行点对点的接线，使你更深入地理解利用电容器来调整时间的方法。

让我们看看实验 11 的原始电路原理图。回想一下该电路的工作原理。电容器通过电阻器充电，直到它获得了足够的电压，能够克服 PUT 的内阻而让电流在 PUT 中流过。然后电容器通过 PUT 放电，使 LED 闪光。

如果给 LED 发出的光线强度画一张图，它将是一个很窄的方波脉冲，如图 3-73 所示。如何才能让它看起来更像图 3-74 那样的曲线，以使 LED 像心跳一样轻柔，逐渐地变亮和变暗呢？

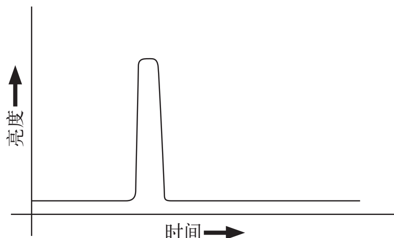


图 3-73

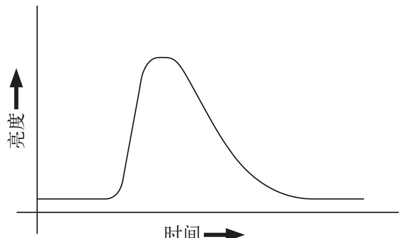


图 3-74 实验 11 中原有的 PUT 振荡器电路导致 LED 发出尖锐、短暂的闪光。图 3-73 显示了当我们测量光线输出随时间变化的曲线时可能看到的情况。本图则显示了每次闪烁从较轻柔的开始到缓慢的结束的一个过程。用电容器可以产生这个效果

有一点是显然的，就是 LED 在每个周期中所发出的光的总量将更大。因此将需要更多的功率。这就意味着图 3-75 中的 C_1 必须是一个较大的电容器。

当容量较大时，就需要更长的时间来充电。为了保持合理的闪烁频率，就应该使电阻器 R_1 具有较小电阻值，以使电容器的充电速度足够快。此外，降低 R_2 和 R_3 的阻值来对 PUT 进行编程，从而使通过它的脉冲得到延长。

最重要的是，我想使电容器经过一个电阻器放电，以使脉冲的开始阶段由原来的跳变过程变成一个缓慢的过程。请记住，当你将电阻器和电容器串联时，电容器不仅充电更慢，放电也更慢了。

图 3-75 给出了具有这些特征的电路。将其与图 2-103 相比较可以看

到，现在 R_1 变成了 33 kΩ 而不是原来的 470 kΩ；R_2 和 R_3 降到了 1 kΩ；R_4 也是 1 kΩ，使电容器通过它放电，延长放电的时间；C_1 现在是 100 μF 而不是原来的 2.2 μF。

在面包板上搭建该电路，并比较采用 R_4 和用架空线将其短路两种情况下的结果。可以看到，R_4 使得脉冲变得平缓了一点，不过我们应该可以使其变得更为平缓。在 PUT 的输出侧，我们可以加入另一个电容器。当脉冲从 PUT 出来时，该电容器将被充电，然后它将通过另一个电阻器逐渐地放电，这样一来，从 LED 发出的光就将熄灭得更加缓慢。

图 3-76 显示了相应的实验装置。其中 C_2 很大，为 220 μF，它吸收从 PUT 出来的脉冲电流，然后再通过 330 Ω 的电阻器 R_5 和 LED 缓慢地释放出电流。现在你会看到 LED 的行为很不同了，熄灭变成了一个逐渐衰落的过程。不过我们加入的电阻使得 LED 发光的亮度变暗了一些，为了使它变得更亮，需要将供电电源从 6 V 增加到 9 V。

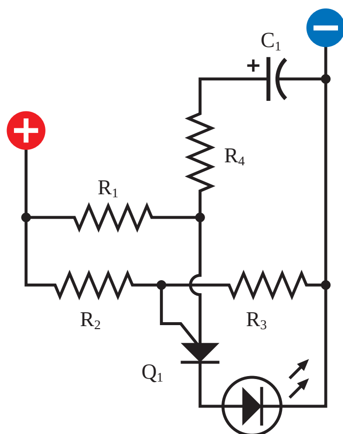


图 3-75　产生柔和闪烁效果的第一步是用一个较大容量的电容器取代 C_1，并让它通过电阻器 R_4 放电。应该使用较小的充电电阻器，以使电容器足够快地充电

R_1：33 kΩ
R_2：1 kΩ
R_3：1 kΩ
R_4：1 kΩ
C_1：100 μF 的电解电容器
Q_1：2N6027

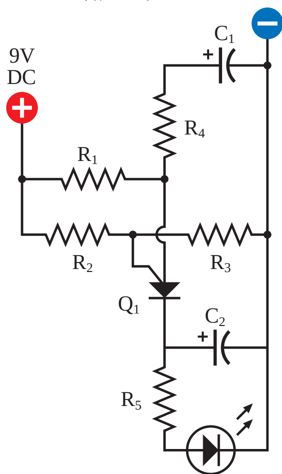


图 3-76　实现缓慢闪烁效果的第二步是增加另一个电容器 C_2，它用每个脉冲来快速充电，然后再通过它下面的 R_5 和 LED 缓慢地放电。

图中有些元件的参数与前面一样，其余元件的参数如下。

R_5：330 Ω
C_2：220 μF 的电解电容器
电源电压增加到 9 V

请记住，只有当电容器的一个引脚接在电源的负极时，电容器才能发挥平滑的作用。因为这样一来，出现在电容器该侧的负电荷就会吸引正的脉冲到达电容器的另一侧（对 LED 的电流起到缓冲作用）。

我很喜欢这种看起来像心跳的效果。我可以想象有一件可佩戴的电子珠宝，它能够发出很柔和的光脉冲，其感觉跟简单振荡器电路发出的边沿很硬、上升和下降都很陡峭的那种脉冲完全不同。如图 3-77 所示。现在仅有的一个问题就是，我们能不能将这些元件压缩到一个足够小、可以佩戴的包装里面？

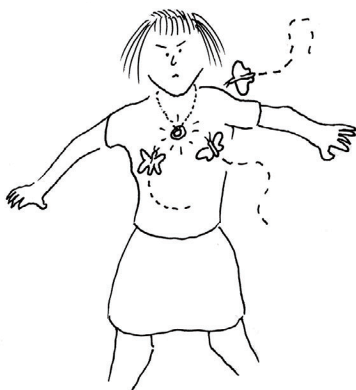


图 3-77　当你在漆黑的夜里行走在乡村的时候，佩戴一件像心跳那样轻柔地闪光的东西也许对你具有意想不到的吸引力

压缩电路尺寸

第一步是查看物理元件，想象如何才能将它们装在一个小小的空间里。图 3-78 显示了紧凑配置的 3D 图。仔细检查图 3-78，并跟踪电路中的所有线路，你会发现这跟电路原理图是一样的。问题是如果我们按照这种方式将元件焊接在一起，它们承受不了多大的力，因为所有导线都很容易弯折，也没有简单的办法将这个电路安装在什么东西里面或者上面。

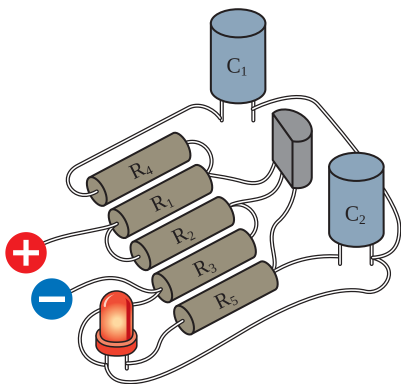


图 3-78　这个元件布置复制了电路原理图的连接，但将它们压缩到了一个最小的空间里

解决的办法是将它放在一个**基底**上。基底是电子学领域的人们比较喜欢使用的术语之一，这也许是因为它听起来要比**模型电路板**更为专业吧。我们需要的就是模型电路板，图 3-79 显示了元件转移到一块大小仅仅为 1 in×0.8 in 的模型电路板上的情况。

图 3-79 中间的版本用虚线显示了板子下面的元件之间将如何彼此连接的。在大多数情况下，从元件下面伸出来的引脚都很长，足以进行这些连接。

图 3-79 下边的版本显示的是模型电路板翻转之后的情况（请注意，字母 L 和 R 也调整了位置以提醒你，并且我使用了较暗的颜色来指明板子的底面）。橙色的圆圈指明了需要焊接的位置。

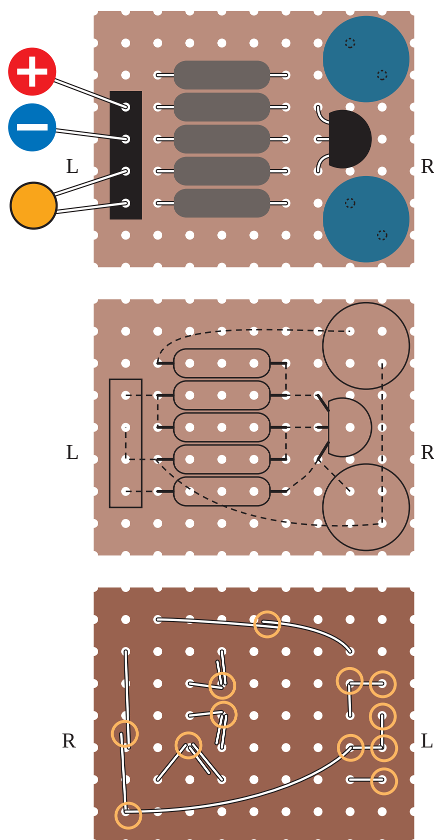


图 3-79 模型电路板可以用来支撑元件布线。在板子的下面，元件的引脚被焊接在一起，建立起电路。中间的图用虚线显示了板子下面的走线。而底图则是经过翻转之后，从下面显示板子的情况。圆圈指明了需要焊接的地方

LED 应该安装成可拔出来的形式，因为我们也许想在远离电路的地方来点亮它。同样，电源也应该是可以拔出来的形式。幸运的是，我们可以购买适合模型电路板使用的微型连接器。为了买到这个东西，你也许得去找 Mouser.com 一类的大型在线零售商。有些制造商将这个东西称作“单列直插插座和插头”，有些则称作“板装插座和针脚接头”。请参考前面的图 3-29，查看商品清单以获得更多的细节。

这是一个十分紧凑的设计，需要使用笔式电烙铁来小心地进行焊接。这样小的一块模型电路板是很容易滑动的，因此我建议你用一个微型台钳夹住板子的一端，加上一定的力量将板子锚定，但用力不要过大，应该让板子仍然可以较轻松转动。

当我焊接这种电路时，我喜欢将元件放在一片柔软的聚氨酯泡沫（常用来制作坐垫的一种厚板）上。这种泡沫可以在板子翻转过来时保

护元件免受损害，也可以阻止元件发生意外的滑动。

步骤

以下是搭建这个电路的具体步骤。

(1) 从一块没有铜走线的模型电路板上切下一小块来。可以用爱好者用的微型锯来切割板子，也可以选择某排孔所在的位置将板子折断（不过要小心行事）。此外，还可以选择一块预先切好的、具有铜圈但孔没有互连的模型电路板。在这个项目中，我们将完全忽略这些铜圈的存在（而在下一个实验中，你则要应对这类挑战，在元件与模型电路板上的铜走线之间进行连线）。

(2) 准备好所有元件，小心地将它们插入板子上的孔里，并要计算孔的数目，确保每样东西都在正确的位置。再将板子翻转过来，把元件的引脚弯曲起来，使它们锚定在板子上，并建立如图 3-79 所示的连接。如果某些引脚线不够长，就需要你从备品中拿出一段 22 号线规的导线将它们加长。你可以除掉导线的所有绝缘层，因为我们会将板子放在一片绝缘塑料上。

(3) 用钢丝钳将导（引）线剪成合适的长度。

(4) 使用笔式电烙铁进行焊接。请注意，在这个电路中，你仅仅是把导（引）线彼此相连。由于元件彼此靠得很近，因此它们可以防止彼此之间发生较大幅度的位置变动。如果你使用的是有铜焊盘的板子（我用的就是这种），并且有些焊锡粘在了焊盘的上面，那么只要焊锡没有流到旁边的元件上导致短路，就不会有什么问题。

(5) 使用近距离放大镜检查每个焊点，并用尖鼻钳摇动焊点。如果发现某个焊点没有足够的焊锡而连接不够稳固的话，请给它重新加热，加入更多的焊锡。如果焊锡建立了一个不应该有的连接，请用万用刀在焊锡上平行地划上两刀，并将两刀之间的小部分焊锡揭掉。

通常，我一次插入 3 个到 4 个元件，适当地剪短导（引）线，焊接好它们，最后再剪掉长出来的引线，然后停下来检查焊点和位置。如果连续焊接的元件太多，就会存在漏检出某个坏焊点的风险。而如果某个元件放错了位置，并且在它的周围已经添加了好多元件的话，那么如何将其拆下来将是个大问题。

图 3-80 和图 3-81 所示是我完成的这个项目，只是板子还没有切到最小尺寸。

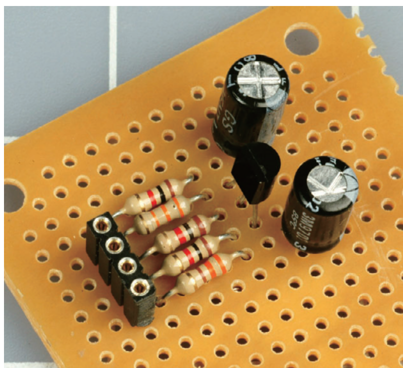


图 3-80　安装在模型电路板上的元件

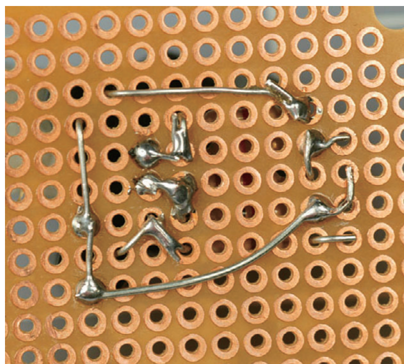


图 3-81　从下面看到的安装情况。对于本项目来讲，圆孔周围的铜圈是不必要的。其中有些铜圈粘上了一些焊锡，不过只要没有产生意外的短路，就没有什么关系



飞舞的线段

在用钢丝钳剪切导线时，刀口会施加强大的力量，这个力量首先达到峰值，然后突然释放。这个力量会导致被剪下来的导线段的突然运动。有些导线相对较软，不会构成大的威胁，但很硬的导线会以很快的速度沿不可预料的方向飞出，很可能击中你的眼睛。从这一点来讲，晶体管的引脚特别危险。

我认为在修剪导线时带上防护眼镜是个好办法。

实现

我总喜欢在明亮的光源下工作。这并不是一种奢侈，而是一种实际需要。如果你尚没有台灯，就去买一盏便宜的台灯吧。我使用的是一盏日光谱的荧光台灯，因为它可以更加可靠地帮助我辨识电阻器的色环码。需要注意的是，这种荧光灯发射出许多紫外线，对眼睛的晶状体不好。要避免直视和靠灯管太近，如果你戴上眼镜的话会有多一层的

保护。

无论你的近距离视力有多好，你都需要使用近距离放大镜来检查每一个焊点。你会惊讶地发现许多焊点是那么的不完善。将放大镜尽可能地靠近你的眼睛，然后拿起你要检查的东西，让它靠近，直到你清晰看到。

最后，你应该得到一个能够工作的电路。你可以将来自电源的两根线插在两个微小的电源插孔上，再将一个红色的 LED 插入剩下的两个插孔。请记住中间的两个插孔是负的，外侧的两个插孔是正的（这是由于按这种方式来连线比较容易）。你应该给它们标注不同的色彩，以避免产生错误。

到此为止，你就有了一个可以发出心跳般脉冲的微型电路了。但它是否真的能工作呢？如果你完成的电路无法工作，那么请跟踪每一根连线，将它与电路原理图进行比较。如果找不到错误，那请给电路加上电源，将万用表的黑色引线搭在电源的负侧，然后用红色引线沿着电路走一遍，检查是否存在电压。如果处于工作状态，这个电路的每个部分都应该至少有一点电压。如果你发现了一个没有电压的死连接，那么可能是你焊出了一个坏焊点，或者是你根本就忘记焊接了。

当你做完这些之后，再做什么呢？好啦，现在你可以不做电子爱好者，而做一个手工艺爱好者。你可以试着想出一些办法来使这个东西戴在身上。

首先你必须考虑电源问题。由于所用元件的原因，我们的电路实际上需要 9 V 的电源才能工作良好。如何才能使这样一个 9 V 的电路戴在身上呢？使用体积庞大的 9 V 电池吗？

我认为有 3 个解决方法。

(1) 你可以将电池放在口袋里，而将我们的闪光器放在口袋外面，用一根细导线刺穿织物把电源引出。需要注意的是，模型电路板上的细小电源连接器能够接受的是 22 号线规的实心线，或者是成股的绞线（类似从 9 V 电池的连接器中出来的导线），但上面应该涂有薄薄的一层焊锡。

(2) 你可以将电池安装在棒球帽的顶部，而将闪光器安装在前部。

(3) 你可以将 3 颗 3V 的纽扣电池堆叠起来，固定在某种塑料夹子里。如果你选择这个方案，那么试图给电池焊上导线可能不是明智之举。这会加热电池内部的液体，不仅对电池不好，对你自己也不是好事，因为液体可能会沸腾，电池可能会爆开。此外，对于大多数电池来讲，焊锡也很不容易粘在大多数电池端部光洁的金属上。

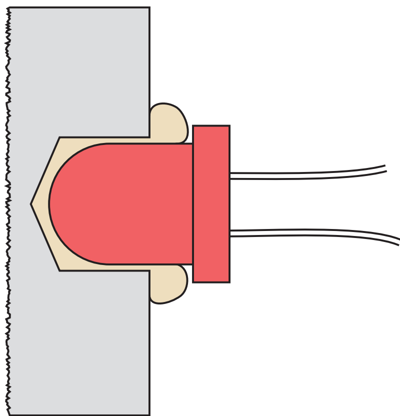


图 3-82 这是一个截面图，图中显示了一片透明的聚丙烯塑料，在其上从后往前钻有一个没有通穿的孔。由于钻头在孔底产生了圆锥的形状，而 LED 的外形是圆的，因此可以往孔中注入透明的环氧黏合剂或硅胶填充剂，然后再装上 LED

大多数 LED 产生的光束形状特别尖细，你也许希望将这个光束弥散开来，更好看一点。实现这个目标的一个办法是使用一片透明的聚丙烯塑料，需要至少 0.25 in 厚，如图 3-82 所示。将聚丙烯塑料的前面磨砂（理想的办法是采用不会磨出显著图样的砂光机）。磨砂将使聚丙烯塑料变得半透明而不是全透明。

在聚丙烯塑料的背面钻一个比 LED 稍大的孔。不要钻透塑料。用空气压缩机吹孔，以除掉所有的碎片和灰尘（如果你没有空气压缩机的话，可以采用水洗的办法）。在孔完全干燥后，找来一些透明的硅胶填充物或者混合一些清澈的**环氧黏合剂**，放入一滴到孔的底部。然后插入 LED，并按压它，迫使环氧黏合剂渗出到它的四周，形成一个紧密的密封。见图 3-82。

试着点亮 LED，如果需要，可以对聚丙烯塑料再次磨砂。最后，你再决定要不要将电路安装在聚丙烯塑料的后面，或者要不要牵一条线到其他地方。

由于 LED 闪烁的速度接近于一个人休息时心脏搏动的速度，因此它给人的感觉就像是在测量你的脉搏，尤其是当你将其安放在胸脯的中央位置或者将其系在手腕上的时候，更是如此。如果你喜欢搞点恶作剧，可以告诉别人你的身体是如此之棒，即使进行高强度锻炼时，你的脉搏仍保持恒定不变。

为了让这个电路有一个好看的外形，我考虑从嵌入到清澈的环氧树脂里变到装在一个维多利亚风格的小盒子里等各种方案。我将选择的权利留给你，因为这是一本电子学的书而不是一本关于手工艺品的书。

我还要谈论另一个话题，就是这个东西到底能够连续闪烁多久？

如果你看一下接下来的“基础要件：电池寿命”一节，就会发现一节普通的碱性 9 V 电池可以让这个 LED 持续闪烁大约 50 小时。

基础要件

电池寿命

每次当你搭建完成一个用电池来供电的电路时，就需要计算可能的电池寿命。这个工作很容易，因为制造商已经根据电池能够提供的“安培小时数”对电池进行了标定。记住以下几点。

- 安培小时数的缩写是 Ah，有时印刷成 AH。毫安小时数缩写成 mAh。
- 电池的额定安培小时数等于电池能够输出的电流安培数乘以相应的小时数。

因此，从理论上讲，1 Ah 意味着 1 A 持续 1 小时，或者 0.1 A 持续 10 小时，或者 0.01 A 持续 100 小时，以此类推。实际情况并非这样简单，因为当你取用很大的电流时，电池内部的化学物质消耗的速度更快，电池变热的时候尤其如此。你必须让电流保持在与电池大小相称的极限范围之内。

例如，如果某个小电池的定额是 0.5 Ah，那么你不要指望让它在 1 分钟内产生 30 A 的电流，不过毫无疑问你可以在 100 小时内得到 0.005 A 的电流。请记住，当电池还是新的时候，它提供的电压要比其额定电压高，随着电池供电时间的延长，它的电压将逐步降低到其额定电压。

基于一些我所信赖的测试数据（我认为它们比电池制造厂家提供的估计值更为实际），下面列出了有代表性的电池的一些数字。

- 典型的 9 V 碱性电池：在输出 100 mA 时，容量为 0.3 Ah。
- 典型的 AA 型 1.5 V 碱性电池：在输出 100 mA 时，容量为 2.2 Ah。

- ❐ 可充电镍氢电池：使用时间大约为同尺寸碱性电池的两倍。
- ❐ 锂电池：使用时间也许可以达到碱性电池的 3 倍。

背景知识

单位制让人发疯

尽管有的时候我会使用米制单位，例如“5 mm 的 LED”，但是在本书的大部分地方，我用的几乎都是英制单位。这并不表示我在写作本书时使用的单位前后不一致，而是反映了电子工业中的一种冲突状态：英寸和毫米通常同时使用，而且往往是在同一个参数说明书中出现。

美国是世界上仍然使用源自英国的老单位制的唯一主要国家（根据美国中央情报局编写的《世界各国概况》，另外两个顽固派是利比里亚和缅甸）。不过，美国仍然在电子工业的许多方面保持着领先的地位，在硅芯片的开发方面尤其如此，它们的接头间隔都是 1/10 in 的。这些标准根深蒂固，并没有消失的迹象。

使事情更加复杂化的是，即使在美国，你也会遇到用两种不兼容的系统来表达 1 in 的一小部分。例如钻头是用 1/64 in 的整数倍来测量的，而金属的厚度则可以用十进制小数为单位来测量，例如 0.06 in 的厚度（即大约等于 1/16 in）。

米制单位系统未必比美国的系统更为合理。在 1875 年米制被正式引入的时候，1 m 被定义为从北极沿着一条线通过巴黎到达赤道的距离的 1/10 000 000，这是一个狂想家式的、以法国为中心的做法。从那以后，米这个单位又经历过 3 次重新定义，目的是为了在科学应用中获得更高的精度。

讲到十进制系统的好处，移动小数点确实要比按 1 in 的 1/64 来计算要简单，但是我们按 10 的倍数来算数的唯一原因仅仅是因为我们的手指碰巧进化成这个数目。实际上十二进制的系统也许更加方便，因为 12 能够被 2 和 3 除尽，而 10 不能被 3 除尽。

由于我们要与古怪的长度单位打交道，因此我制作了图 3-83 和

图 3-84 那样的图表来帮助你进行单位制的转换。从这些图表可以看出，如果你要给 5 mm 的 LED 钻一个孔，那么选用 3/16 in 的钻头就可以满足要求了（实际上，这要比你钻一个 5 mm 的孔更好，配合得更为紧密）。

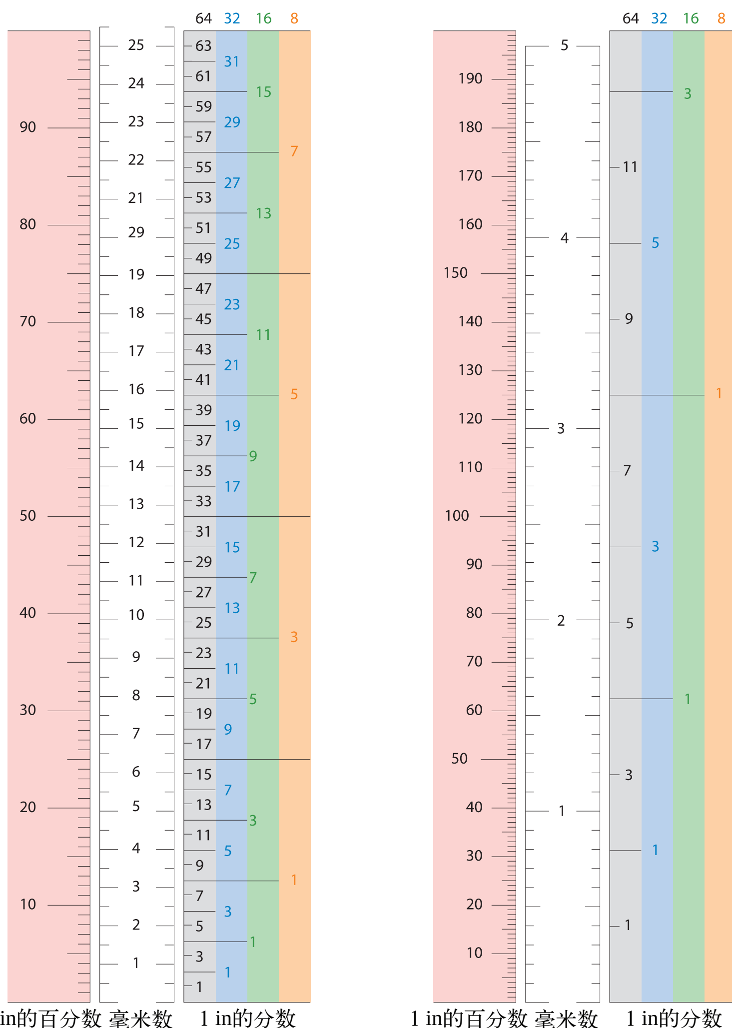


图 3-83 由于电子学中采用的单位不是标准单位，常常需要进行转换。右图是左图的下半部分经过 5 倍放大之后的图形

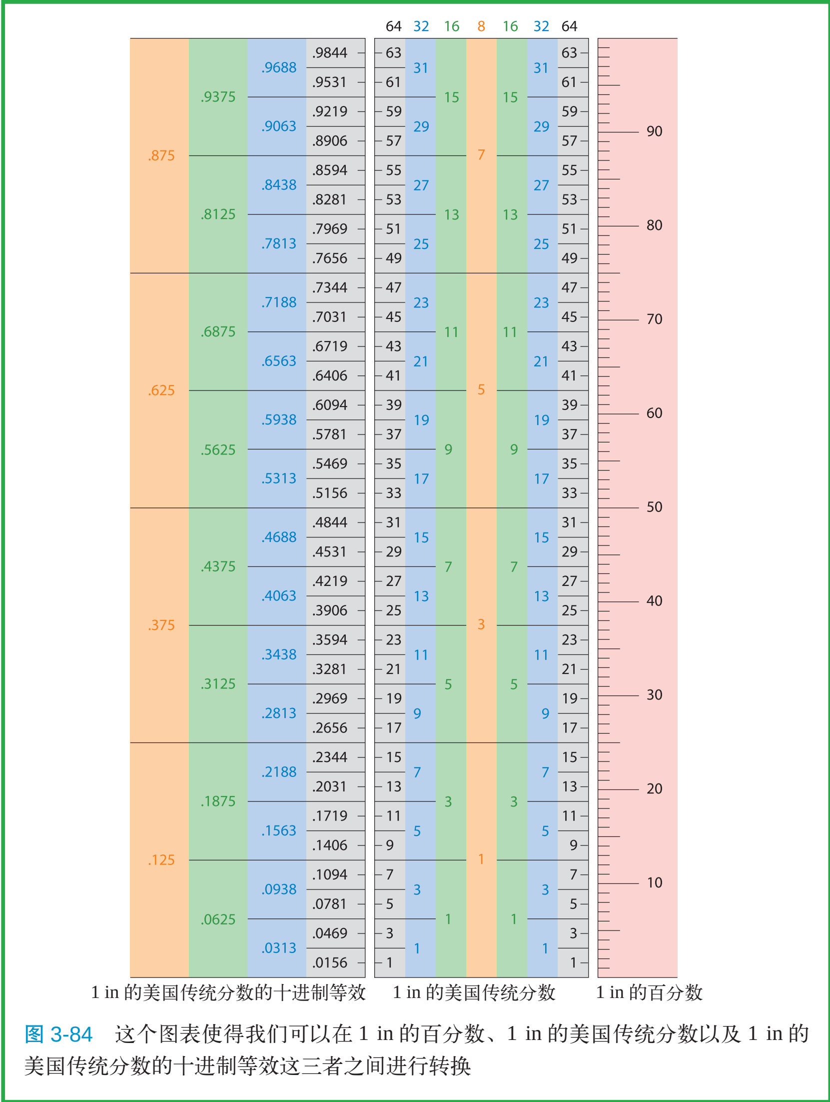


图 3-84　这个图表使得我们可以在 1 in 的百分数、1 in 的美国传统分数以及 1 in 的美国传统分数的十进制等效这三者之间进行转换

实验 15　侵入报警器的改版

现在是时候为实验 11 结束时讨论的入侵报警器增强一些功能了。我将会向你展示，当你在家里的窗户和门口等部位安装了多个探测器的

时候，该如何触发报警器。我也将向你展示，如何接线才能使线路具有自锁功能，即使在门或窗重新关闭以后，它也会连续地制造噪音。

这个实验将展示把面包板上的项目转换到模型电路板（如前面的图 3-72 所示）上的过程，这个电路板具有与面包板内部的铜条完全相同的铜连接的。并且你还需要把完成的电路装在一个项目盒中，把开关和连接器装在盒子的前面。

等我们讲完做完之后，你就可以成批制作电路了。本书剩余部分的解释将慢慢变得比较简洁，步伐也将加快。

在这个实验中，以下是你需要的东西。

- ❒ 15 W 的笔式电烙铁。
- ❒ 细焊丝（0.022 in 或者类似的）。
- ❒ 剥线器和钢丝钳。
- ❒ 蚀刻有跟面包板同样布局的铜连接的模型电路板。
- ❒ 小台钳或钳子，用于固定模型电路板。
- ❒ 跟实验 11 相同的元件，外加：
  - 型号为 2N2222 的 NPN 晶体管。数量：1 个。
  - 双刀双掷继电器。数量：1 个。
  - 单刀双掷拨动开关。数量：1 个。
  - 1N4001 二极管。数量：1 个。
  - 红色和绿色的 LED，5 mm 的。数量：各一个。
  - 项目盒，6 × 3 × 2 in 的。
  - 电源插头，N 型的，以及配套的电源插孔，N 型的。
  - 接线柱。
  - 22 号线规的绞线，需颜色不同的 3 种线。
  - 磁性传感开关，数量足够你家里用的。
  - 报警网络线，长度足够你家里用的。

磁性传感开关

典型的报警传感器包括两个模块：磁性模块和开关模块，如图 3-85 和图 3-86 所示。磁性模块中仅仅包含一块永久磁铁，并无其他东西。开关模块中包含一个“磁簧开关”，它在磁铁的影响下（像继电器中的触点一样）建立或断开连接。当你让磁性模块靠近开关模块时，你可以

隐约听到磁簧开关发出嘀嗒的声音，这是因为它从一种状态翻转到了另外一种状态。

跟所有的其他开关一样，磁簧开关可以是常开的或者常闭的。对于我们这个项目来讲，需要的是常开的开关，只有当磁性模块靠近它的时候，才闭合起来。

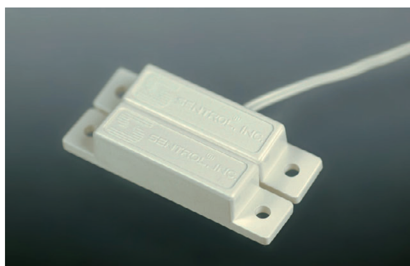


图 3-85 在这个简单的传感开关中，下方的模块中有一块磁铁，它可以打开和闭合安装在上部模块中的一个磁簧开关

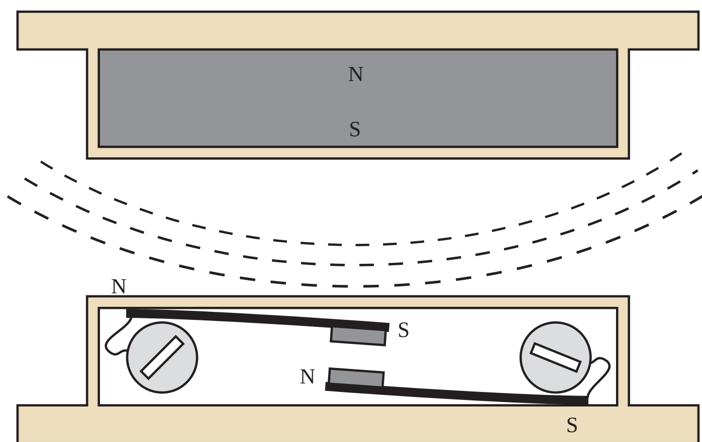


图 3-86 这个剖面图显示了报警传感器内部的磁簧开关（下部）和给它激磁的磁铁（上部）。开关包含两个柔软的磁化条，上部磁化条的南极靠近一个电气触点，下部磁化条的北极靠近一个电气触点。当磁铁的南极靠近开关时，（虚线所示的）磁力排斥南极的触点，吸引北极的触点，导致它们闭合在一起。有两颗螺丝从外壳的外面连接到里面的磁化条

将磁性模块安装在门和窗户的运动部分，将开关模块安装在窗框和门框上。当窗或者门闭合时，磁性模块几乎是靠在开关模块上的。磁铁将使开关保持闭合状态，直到门或者窗户打开之后，开关才断开。

剩下的唯一问题是：我们怎样才能用这个元件来触发报警器呢？只要有一个小小的电流流过所有的磁性传感开关，报警器就应该是关闭的，但是如果电流停止流动，报警器就应该开通。

我们可以使用一个“常开”的继电器来使报警器保持报警状态。当

电路被中断之后，继电器释放，它的另外一对触点闭合，来给报警噪音产生电路供电。

不过我不喜欢这个办法。因为继电器有比较大的功耗，并且还会发热。大多数继电器都不是用来“始终导通”的。我喜欢用晶体管来完成这个任务。

断路构成的晶体管电路

首先请回忆一下 NPN 型晶体管的工作原理。当基极电压不够正时，NPN 型晶体管会阻断集电极和发射极之间的电流，而当基极电压相对正时，晶体管将导通电流。

请看图 3-87 的电路原理图，它是围绕着我们的老朋友——2N2222 型 NPN 晶体管搭建的。当开关闭合时，它通过一个 1 kΩ 的电阻器把晶体管的基极连接到电源的负端。与此同时，基极还通过一个 10 kΩ 的电阻器连接到电源的正端。由于电阻值的差别以及 LED 相对较高的开通电压，基极被强制在低于开通门槛的电压上，因此，晶体管中将不会有多少电流通过。LED 至多是发出微弱的一点光。

现在我们打开开关，会发生什么事情呢？晶体管的基极没有了电压负极的供电，仅有电源正极的供电。它的电压变得更正了，高于晶体管的导通门槛电压，这告诉晶体管要降低自己的电阻，让更多的电流通过。现在 LED 发的光十分明亮。这就是说，当开关断开时，连接被断开，LED 被开通。

这似乎正是我们所要的。现在设想是许多开关串联而不是单独的一个开关，如图 3-88 所示。虽然开关散布在家里的各个地方，但由于连接开关的导线的电阻比起 1 kΩ 的电阻器来是可以忽略不计的，因此这个电路仍然将按同样的方式工作。

我所画的开关是打开的，这是因为在电路原理图中，开关就是画成这种样子的，不过你要想象它们都是闭合的。晶体管的基极将通过由导线串联在一起的闭合的开关得到供电，LED 将保持熄灭状态。现在如果有一个开关打开了，或者有人弄断了连接开关的导线，晶体管的基极将失去到电源负端的连接，因而晶体管将导通，LED 将点亮。

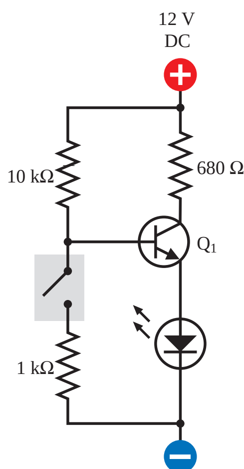


图 3-87　在这个示意性的电路图中，当开关断开时，会中断电源负端到晶体管基极的供电，导致晶体管降低其内阻，允许电流通过 LED。因此，当开关断开时，LED 开通

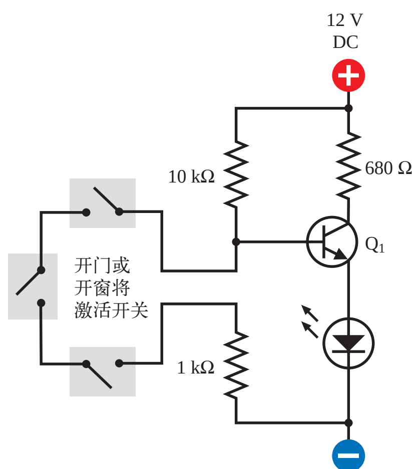


图 3-88　串联连接的开关网络可以代替图 3-87 中的单个开关。现在任何一个开关都可以断开电路的联通，触发晶体管

由于在所有开关保持闭合的时候，电路通过的电流极小，也许只有 1.1 mA，因此你可以用一个典型的 12 V 的报警器电池给它供电。

现在假定我们移走 LED，在相应的位置放一个继电器，如图 3-89 所示。我不介意把继电器放在这个地方，因为在这里继电器并不是“始终导通的”。它在正常情况下是断开的，只有当报警器触发之后才会消耗电力。

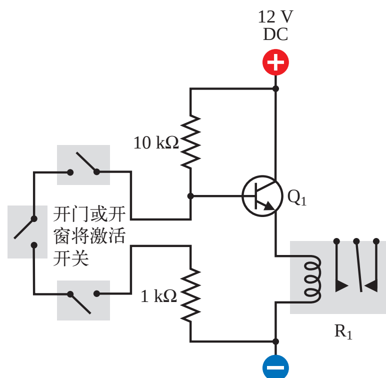


图 3-89　如果移走图 3-88 中的 LED 和 680 Ω 的电阻器，而用一个继电器来替换它们，当传感网络中的任何开关被打开时，继电器将被激磁

你以前使用过 12 V 的继电器，从中选一个来试试。你应该可以发现，当你打开开关时，继电器就被激磁了。当你闭合开关时，继电器又回到原来的休眠状态了。请注意我去掉了电路中的 680 Ω 的电阻器，这是因为在 12 V 的供电电源下，继电器不需要任何保护。

自锁继电器

现在只剩下一个问题了：我们希望报警器继续发出报警声音，即使当某个人打开门窗后又很快将门窗关闭也应该继续发出报警声。换句话说，当其被激活之后，它必须能够自锁。

实现这个功能的一个办法是使用闩锁继电器，但唯一的问题是我们又需要另外一个电路来给它解锁。我更喜欢教你另外一个方法，利用这个方法，你可以让任何的继电器在受到哪怕是一瞬间的电力之后都可以继续保持自己的导通状态。这个方法对于本书后面的项目也是很有用的。

其诀窍在于通过继电器内部的两个常开触点给继电器的线圈供电。（注意这跟继电振荡器的情况正好相反，后者是采用常闭触点给自己的线圈供电的。该装置的继电器在几乎刚刚开通自己的同时又断开自己。而现在这个装置则只要被激活，就导致继电器一直保持导通。）

图 3-90 用 4 个电路原理图阐释了这个方法。你可以把它们想象成电影的一帧帧照片，照片之间的间隔是微秒级。在第一张图中，开关断开，继电器没有激磁，没有什么发生。在第二张图中，开关已经闭合，线圈被激磁。在第三张图中，线圈已经拉动了继电器内部的触点，使到达线圈的电力有两条路径。在第四张图中，开关已经断开，但是继电器通过它自己的触点继续得到供电。继电器将保持这种状态直到电源被切断。

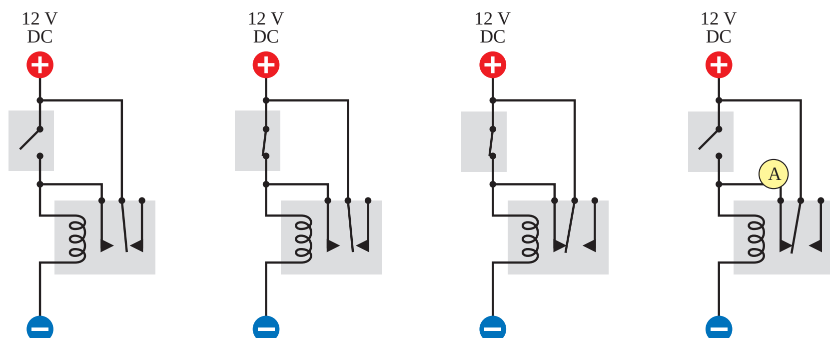


图 3-90　这一系列的电路原理图显示了继电器被激磁时发生的事情。开始时，开关断开。然后开关闭合，激活继电器。接下来继电器通过自己内部的触点给自己供电。在开关断开以后，继电器继续保持激磁状态。由继电器开通的电力可以从电路中的 A 点提取出来

应用这个方法时，我们所要做的就是用晶体管来代替图 3-90 中的开通 / 断开开关，并从 A 点引出抽头，从这里连线到噪音产生模块。

图 3-91 给出了相应的工作原理。当晶体管被传感网络中的任何开关激活时，如前面解释的那样，晶体管将把电力传给继电器。继电器将自锁，晶体管就变得不相干了。

由于已经在原始的噪音产生电路中增加了新的模块，因此我对图 2-112 的方块图进行了更新，以表明我们仍然可以将其分解成具有简单功能的各个模块。更新后的方块图如图 3-92 所示。

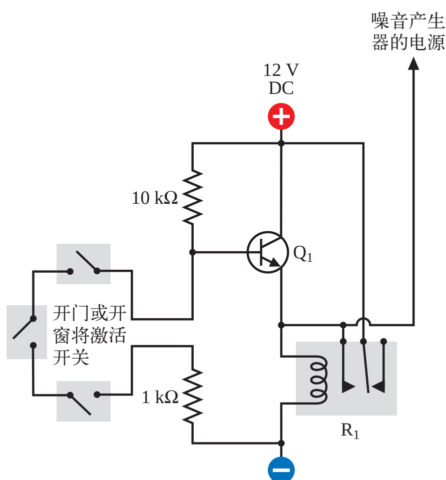


图 3-91 图 3-90 所述的自锁继电器已经被结合到报警器电路中，使得当开关网络中的任何开关被打开时，继电器能够继续给噪音产生电路供电，即使在开关重新闭合之后也不例外

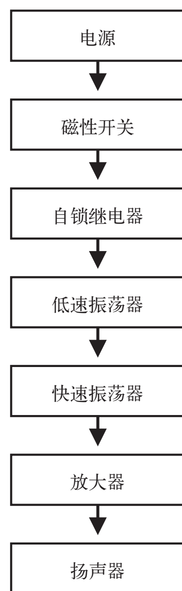


图 3-92 这个方块图是在图 2-112 的基础上，加入磁性开关网络和自锁继电器控制系统后升级而来的

阻断有害电压

现在还有一个小问题：在新版的电路中，当晶体管断开而继电器保持闭合的时候，来自继电器的电流可以回流到晶体管发射极的引线上，然后它将试图通过晶体管流回到基极去，这是因为基极是通过所有的磁性开关以及 1 kΩ 的电阻器连接到电源的负端的，它具有相对“更负”的电压。

给晶体管施加反向的电力不是什么好事。因此，在这一系列的电路原理图的最后一个里多出了一个元件，这个元件你以前是没有见过的，就是二极管，标记为 D_1。见图 3-93。二极管看起来很像 LED 的心脏，确实，它是像心脏一样十分脆弱的东西（尽管有些二极管相当结实）。它只允许电流沿一个方向流入，就是从正到负，由其中的箭头符号表示。如果电流试图沿着相反的方向流通，二极管将阻断它。获得这个功能的唯一代价，就是当电流沿着正确的方向流通时，二极管会给电流施加一个小的电压降。

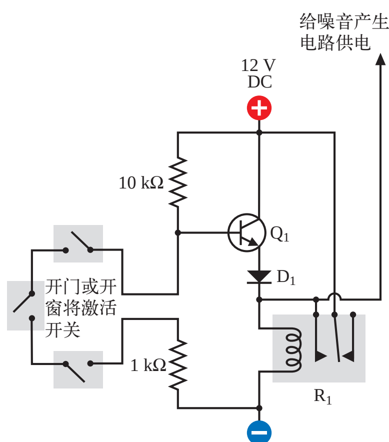


图 3-93　添加了二极管 D_1，以便在继电器得到激磁时对 Q_1 的发射极进行保护，避免其受到正电压的影响

好了，现在来自晶体管的正向电流可以通过二极管，到达继电器的线圈，让报警器报警了。然后继电器给自己供电，而二极管防止来自电源正端的电流沿着错误的方向回流到晶体管里。

解决这个问题的一个更加高明的方法也许是将继电器的常开引脚通过一个 10 kΩ 的电阻器连接到晶体管的基极。当继电器没有被激磁时，常开引脚是不起作用的，其行为仅仅相当于节点上的一个寄生电容。当继电器被激磁时，常开引脚将 10 kΩ 的电阻器并联在晶体管的基极与电源的 +12 V 公共端之间。在以上配置中，晶体管从来不会暴露在潜在的有害电压之下，你也没有依赖非理想元件的漏电流来对设备进行保护。

只是由于我需要一个机会来向你介绍二极管的概念，所以才对使用二极管的方案进行了详细的介绍。你可以读读“基础要件：二极管”，来学习更多关于二极管的知识。

基础要件

二极管

二极管是很早的一类半导体。它允许电流沿一个方向通过，而

阻止其沿相反的方向通过（发光二极管 LED 则是相对较近的发明）。跟 LED 一样，二极管也会被反向电压或者过高的电压所破坏，只不过大多数二极管在这方面的允许值通常要比 LED 的高得多。二极管阻断正向电压的一端总是有标记的，通常是一个圆环，而另一侧则没有标记。二极管在逻辑电路中特别有用，它也可以用来将交流转换成直流。

齐纳二极管是一种特殊的二极管（在本书中没有用到）。它彻底地阻断一个方向的电流，在达到门限电压之前，它也会阻断另一个方向上的电流——这很像 PUT。

信号二极管有不同的电压和功率。在前面的报警器激活电路中，我推荐的是 1N4001 型二极管，这种二极管其实能够在高得多的电压下处理大得多的负载，我之所以使用它，是因为它具有比较小的内阻。我希望二极管产生的电压降尽可能小，以使继电器能够得到尽可能高的电压。

在低于二极管的额定容量的场合下使用它是一个良好的习惯。跟任何其他半导体一样，如果使用不当的话，它们也会过热和烧坏。

二极管的电路原理图符号只有一个重要的变种：其中的三角形有时是空心的，有时是完全填充的（见图 3-94）。

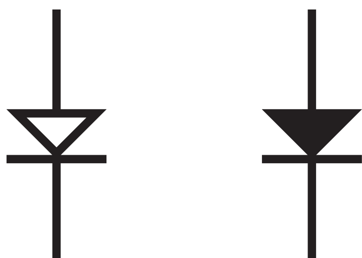


图 3-94 这里的两个电路原理图符号都可以用来表示二极管，不过右侧的符号要比左侧的更常用

在面包板上实现报警器电路

现在我们在面包板上实现报警噪音产生器的控制电路。图 3-95 给出了具体的做法。我这里假定你仍然保留着以前的噪音产生电路，并且它仍然能够像以前一样正常工作。我也假定你仍然保留着安装在面包板上半部分的该电路的有关元件。为了节省空间，在图 3-95 中，我仅仅显示了安装在同一块面包板下部新增加的那些元件。

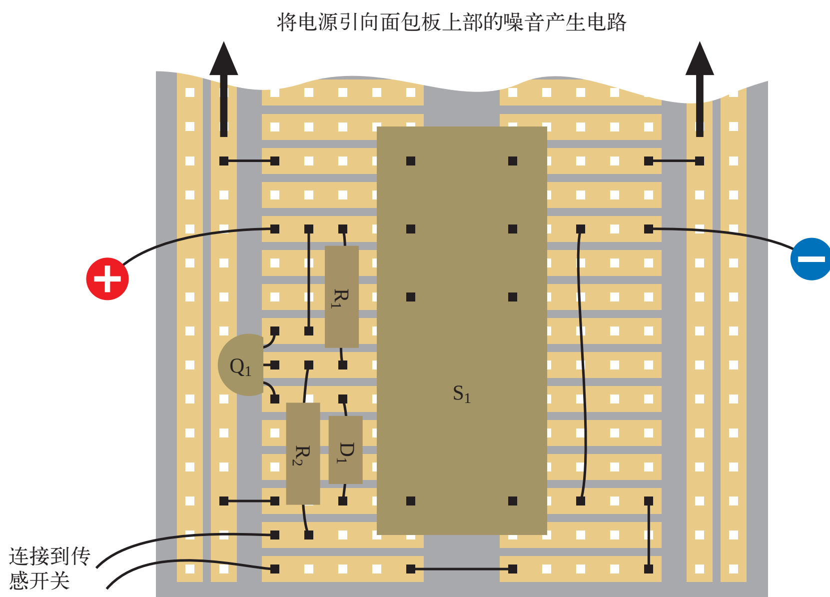


图 3-95 前面几页开发出来的电路原理图可以用面包板上的元件来实现，如本图所示。图中的 S_1 是一个双刀双掷继电器。在图中标示的相应位置上，必须添加导线来连接到开关网络和电源

需要特别记住的是，你再也不是直接去给面包板左边和右边的“轨道”供电了，你需要先给继电器–晶体管的那部分电路供电，然后当继电器的触点闭合时，由继电器来给“轨道”供电。然后“轨道”再给面包板的上半部分电路供电。因此，请你把电源从面包板的“轨道”上断开，并按照图 3-95 的样子重新连接。

由于我们使用的是双刀的继电器，我既用它来开关负端，又用它来开关正端。这就意味着当继电器的触点断开时，产生噪音的电路是完全与其余电路相隔离的。

面包板上搭建的继电器电路跟图 3-93 中的电路原理图是完全相同的。只是对元件的布局做了重新安排并压缩在一起，以便能够放在继电器的一侧。左下角的两根导线需要连接到报警器触发用的磁性传感器网络。从测试的角度来讲，你只需将这两根导线剥掉绝缘层的端部连在一起来模仿所有开关的闭合，分开这两根导线来模仿某个开关的打开。

在继电器的每侧各有一根导线将电源引入面包板，这就是在试验阶段连接电源的地方。另外，通过继电器上方左右两侧的小架空线，将继电器上方一对触点的输出连接到面包板的“轨道”上。不要忘记连接这两根小架空线！此外，在左下角还有另外一条小架空线（很容易被忽略的），它将左侧的“轨道”与继电器线圈的左端连接在一起，以便当继电器给噪音产生电路供电时，也顺便给自己供电。

当你安装二极管时，请记住标记有圆环的一端是阻断正电流的一端。在这个电路图中，这应该是二极管靠下方的一端。

现在来试一试，以确保它能够工作。将传感器的导线短路，然后加上电源。这时报警器应该保持安静的不报警状态。你可以用万用表来检查两侧的“轨道”，会发现它们之间没用电压。现在分开传感器的导线，继电器会发出嘀嗒的声音，将电源加到侧面的轨道上，并激活噪音产生电路。即使你将传感器导线重新接在一起，继电器也继续保持闭锁状态。使其解除闭锁的唯一方法就是断开电源。

当电路激活以后，接上二极管的晶体管会使电压稍微有一点降落，但 12 V 的继电器应该还可以工作。

在我的测试电路中，我试用了 3 种不同的继电器，它们在 9.6 V 时所吸收的电流在 27 mA 到 40 mA 之间。当晶体管处于“关闭”状态时，还是有一点电流通过晶体管漏掉了，不过这只有几个毫安，此时加在继电器上的电压只有 0.5 V。这样小的电压远低于继电器开通的门槛电压。

在模型电路板上实现

如果电路能够工作，那么下一步就是在模型电路板上做出一个永久性的电路。请使用蚀刻有铜连线且连接模式跟面包板相同的模型电路板（见图 3-72）。请参考接下来的“基础要件：模型电路板的焊接程序”，这是对焊接这种特殊焊点的一个最佳的指导，并参考随后的内容，它给出了一些最常见问题的解答。

只要你每次移动的元件数目不是太多，将元件从面包板移植到模型电路板就是一件相当简单的事情。请遵从“基础要件：模型电路板的焊接程序”中提出的建议，并时不时地停下来检查你的连接。在这类工作中，缺乏耐心几乎总是引发错误的原因。

基础要件

模型电路板的焊接程序

仔细看清一个元件在面包板上的位置，然后将其移到模型电路板上相对应的同样位置，并让其引脚穿过小孔到板的另一侧。

将模型电路板翻转过来，确保元件是装稳的，并检查引脚穿过小孔的情况，如图 3-96 所示。有一个铜的走线围绕着这个孔并连接到其他的孔。你的任务就是熔化焊锡，让它粘在铜焊盘和元件的引脚线上，在这两者之间形成坚固而可靠连接。

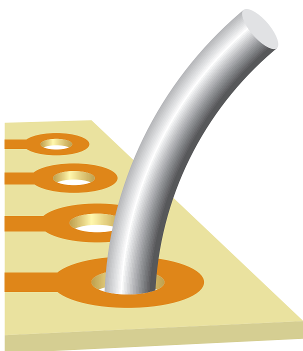


图　3-96

一只手拿笔式电烙铁，另一只手拿焊丝。让烙铁头靠在元件的引脚线和铜焊盘上，送入一些细焊丝到它们的交叉点上。经过 2 s ～ 4 s 之后，焊锡应该开始流动。

送入足够的焊锡以形成一个圆包，来封闭导线和铜焊盘之间的缝隙，如图 3-97 所示。等焊锡完全变硬之后，用尖嘴钳夹住导线并扭动，以判断连接是否牢固。如果没什么问题，再用钢丝钳剪掉突出的导线。见图 3-98。

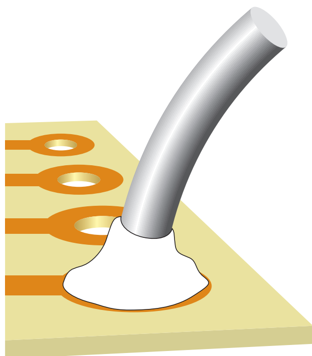


图　3-97

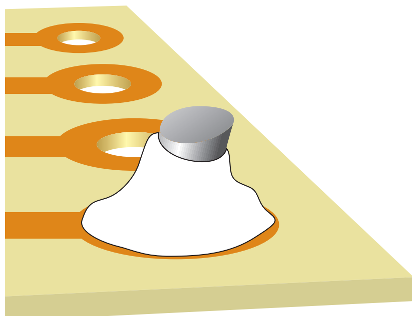


图 3-98　为了在模型电路板的铜焊盘和一段导线之间建立连接，将导线压入并穿过孔，由焊锡（为了说明方便，显示为纯白色）来完成连接。然后可以将导线剪短

由于很难对焊点进行照相，因此我使用示意图来显示导线焊好前后的情况，用纯白色来表示焊锡，并用黑线来表示焊锡的轮廓。

实际焊好的模型电路板照片如图 3-99 和图 3-100 所示。

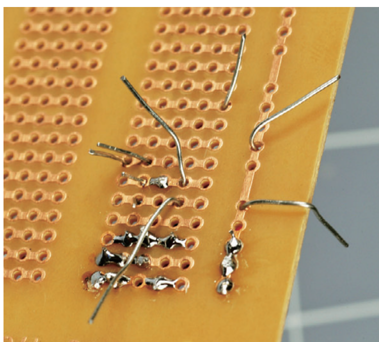


图 3-99　这幅照片是在将元件从面包板移植到模型电路板的过程中拍摄的。每次从板子的另一侧插入两个到三个元件，并将它们的引脚弯起来，以防止它们掉落出去

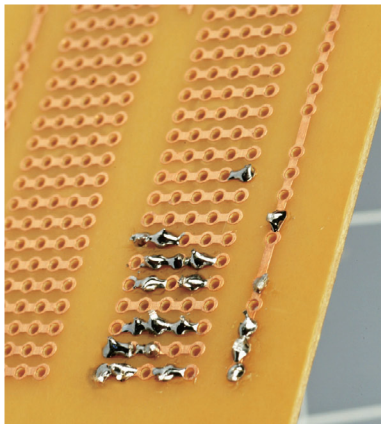


图 3-100　在完成这几个元件的焊接之后，将引脚剪短，并在放大镜下面检查焊点的好坏。然后又可以插入另外的两个到三个元件，并重复这一过程

工　　具

焊接模型电路板时最常犯的4个错误

(1) 焊锡太多

往往在你知道之前，焊锡就已经在板上蔓延，碰到另一根铜走线，并粘在上面了，如图 3-101 所示。当发生这种情况时，你必须等它冷却，然后用万用刀将连接切断。你也可以试着用吸锡橡胶球和吸锡带来将焊锡移除，但总会有一部分留在上面。

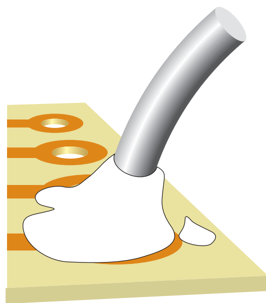


图 3-101　如果使用了太多的焊锡，这将使板上一片混乱，并在其他导线之间产生不需要的连接

即使是在显微镜下才能看出来的一个焊迹也足以产生一个短路。请在

放大镜下转动模型电路板，这样光线就可以从不同的角度照射到上面，用这种方式来检查导线的连接情况（或以这种方式用吸锡带将焊锡吸走）。

(2) 焊锡不够

如果连接太细，那么在焊锡冷却的时候，导线可能会从焊锡上断开而变成活动的状态。即使是一个只能在显微镜下才能看到的裂缝也足以阻断电流的流通。在极端的情况下，导线上已经粘上了焊锡，导线周围的铜焊盘上也粘上了焊锡，但两者之间却没有建立起一个稳固的连接桥梁，结果是导线虽然已经被焊锡环绕了却没有连接到板子上，如图 3-102 所示。只有在放大镜下面进行观测才能发现这种难以检测的情况。

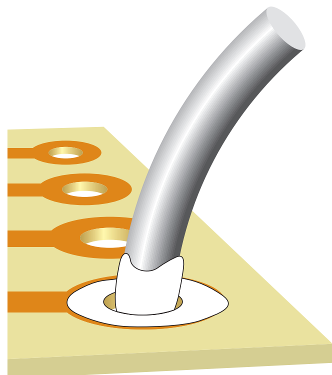


图 3-102 当焊锡太少（或加热不足）的时候，就会出现被焊接的导线与模型电路板上被焊接的铜焊盘之间仍然处于分离的状态。你要知道，即使是一根头发丝粗细的间隙也足以阻断电流的流通

你可以给焊锡不足的任何焊点加入更多的焊锡，但前提是要重新对焊点进行充分的加热。

(3) 元件放置得不对

在插入元件时，插偏一个孔是很容易发生的事情。另外也很容易忘记进行连接。

我建议你将电路原理图打印一份，每次在模型电路板上完成一个连接时，就在你的打印的图上用突出的颜色删除相应的连接线。

(4) 碎片

当你剪短导线时，你剪下来的小碎片不会消失得无影无踪。它们会混杂在你的工作区里，其中的任何一个都很容易被你的模型电路板粘上，并可能在不需要电气连接的地方建立电气连接。

这也是在工作中要将某种柔软的东西（譬如聚氨酯泡沫）放在

项目板下面的另一个原因。它能够吸收或固定小块的碎片，降低在连线中粘上这种碎片的风险。

在你给板子上电之前，先用一个旧的干牙刷清洁板子的下侧，并尽可能地保持你的工作区整洁。你越小心，后面遇到的问题就越少。

再强调一遍，要用放大镜检查每一个焊点。

图 3-103 所示为模型电路板上的噪音产生电路，其元件的布置已经非常紧密。图 3-104 所示是加入继电器及其相关元件之后的模型电路板。一对黑色的线将连接到扬声器，一对红-黑色的线将电源接入到模型电路板上，而那对绿色的线将连接到磁性传感开关。每根线都是插在板子上的，通过其剥掉绝缘层的端部被焊接在下面的铜焊盘上。

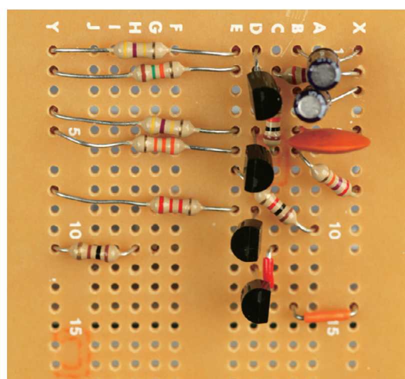


图 3-103　噪音产生电路已经从面包板移植到模型电路板，没什么需要增加或改变了

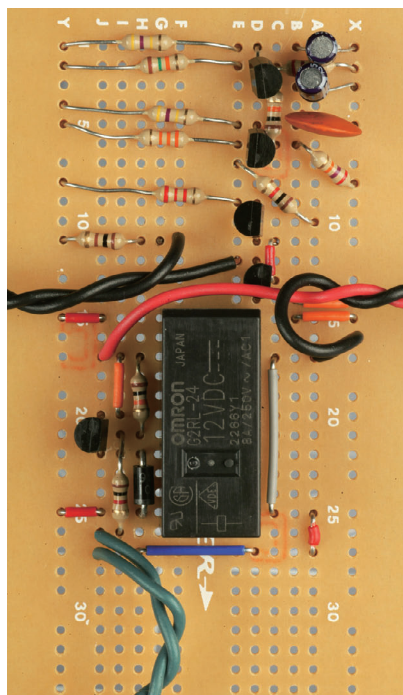


图 3-104　继电器-晶体管控制电路也已经加入。连接到外部设备的导线已经剥掉绝缘层，插在模型电路板上正确的位置，并已经焊接好。其中绿色的导线连接传感器网络，黑色的一对线接往扬声器，红-黑的一对线提供电源

基础要件

实际的故障跟踪

以下是对故障跟踪过程的真实描述。

将噪音产生电路与继电器电路一起组装在模型电路板上之后，我检查了自己的作品，并加上了电源——尽管继电器发出了嘀嗒的声音，但是扬声器中却没有声音发送出来。当然，面包板上的所有东西都工作得很好。

我首先检查了元件的位置，因为这是最容易检查的项目。我没有找到错误。然后在施加电源的情况下，我轻轻地弯曲板子，这时扬声器发出了一声短暂的“哔噗”声。每次当你遇到这种情况时，应该可以肯定的是某个焊点存在微小的缝隙。

下一步是将万用表的黑色引线固定在电源的负端，然后接通电源，用万用表的红色引线在板子上从上到下一点一点地检测各点的电压。在这样一个简单的电路里，每点都至少显示出一些电压。

但是，当我检测到第二个 2N2222 晶体管（它是给扬声器供电的）时，它完全没有输出。这要么是我在焊接的时候将这个晶体管熔断了（不太可能），要么是焊出了一个坏焊点。我用放大镜检查这个晶体管下面的板子，发现晶体管有个引脚的周围都是焊锡，但是实际上焊锡却没有粘到引脚上。这个间隙可能小于千分之一英寸，但已经足以阻断电流。这个问题有可能是由灰尘或油污引起的。

当一个电路不工作时，你所需要的就是这样一种耐心的检查。检查你的元件是否放置正确，检查你的供电电源，检查板子上的电源，检查电路每一级的电压，只要坚持下去，你就能够发现故障所在。

报警器的开关及输入

现在你的任务是让这个系统易于使用。图 3-105 的方块图在靠近顶部的位置添加了一个方框：用户控制，这些将包括开关、LED，以及连接到外部的连接线。为了计划好这一块的工作，首先我需要总结一下我们这个报警系统目前的工作机制。

一个功能完善的家用报警器系统通常有两种工作模式，即在家模式与离家模式。

- 在家模式中，你在家时报警器开关会合上，有入侵者打开门或窗时报警器就会报警。
- 离家模式中，你通常需要输入一个代码，然后你有 30 s 的时间离开和关门。当你返回时，你的开门会触发报警器，但是你有 30 s 的时间走到控制屏再次输入你的代码来阻止报警器发出声音。

到目前为止，你建好的报警器系统只有一个在家模式。不过，有很多人认为这个功能已经够用，很能够让人安心了。在本书后面的内容中，我将建议一个方法，让你可以对我们目前的电路进行修改，加入离家模式。不过就目前来讲，将家用模型实用化就已经是一个很大的挑战了。

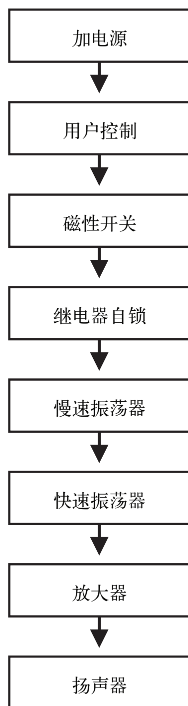


图 3-105　这是报警器项目改进到目前阶段的最终方块图，它显示了在这个结构的功能流程中，用户控制所在的位置

基于日常需要，考虑一下应该怎样使用这个报警器。它自然应该有一个启动 / 关闭开关。当其启动时，任何一个磁性传感器开关都可以触发报警器。但是，如果在有一个窗户没有关闭的情况下开通这个开关，将发生什么事情呢？显然，这时候报警器是不应该报警的。这时你实际上需要的是一个电路测试功能，让这个测试告诉你是不是所有的门和窗都关好了。如果都关好了，那你就可以启动报警器了。

我认为可以用一个按钮来测试报警电路。当你按下它时，让一个绿色 LED 发光，以告诉你电路是正常的。在看到绿光之后，你就释放按钮，并打开电源开关，它再让一个红色 LED 发光，提醒你报警器现在已经启动，并准备报警。

另一个功能，即报警噪音产生器的测试功能也十分有用，它可以让你确信系统在需要报警的时候确实能够发出报警的声音。

图 3-106 的电路包含了所有这些功能，其中 S_1 是单刀双掷开关；S_2

是 ON-(ON) 型的双刀双掷短暂按钮。在原理图中，按钮显示为未按下时的“释放”模式。

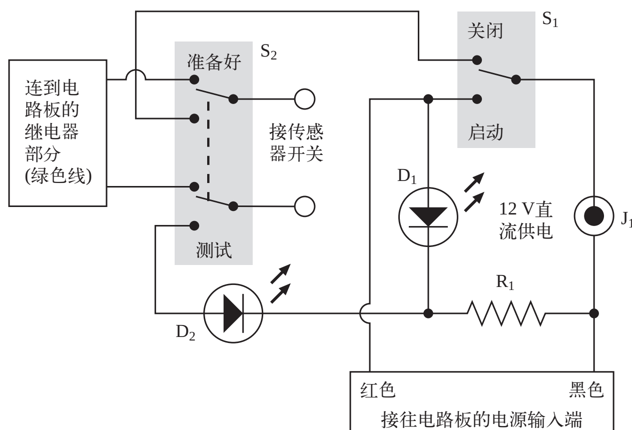


图 3-106　这个电路原理图给出了一个方便的方法，来给报警器增加一个启动 / 关闭开关、一项开关网络连续性的测试功能，以及一项噪音产生电路的测试功能

D_1 是一个红色 LED，D_2 是一个绿色 LED，J_1 是电源输入的插座（和一个 12 V 的外部供电电源相连），R_1 是一个 680 Ω 的电阻器，用于保护 LED。请注意，J_1 遵从通常的惯例，即由其中心触点来供应正电压，而由环绕中心的圆壳来供应负电压。

当 S_1 处于关闭位置时，它仍然会通过其上部触点给按钮 S_2 供正电压。当按钮按下后，它进入“测试”位置，S_2 的刀将与电源相连，并通过门和窗上面的传感开关将电源送出。连接到这些开关上的导线接在一对接线柱上，在这里用两个圆圈表示。如果所有传感开关都是闭合的，电源将从第二个接线柱返回，通过 S_2 下部的一组触点，点亮代号为 D_2 的绿色 LED。这是因为 S_1 并没有将电源送往报警器的电路板，所以报警器不会发声。

现在，如果将 S_1 切换到启动位置，它将把电力送到模型电路板上的元件。晶体管电路会将电力沿着绿色导线送往 S_2，只要按钮没有按下，电力就会沿着开关网络走下去，最后再通过 S_2 返回到晶体管，使晶体管的基极具有相对较负的电压。因此报警器会保持安静状态。不过，一旦某个传感器开关打开，电流就断开，报警器就会报警。其实中

断其报警的唯一办法就是将 S_1 切换到关闭位置。

最后，如果你在 S_1 处于启动模式下按下按钮 S_2，那么由于你中断了开关网络，因而将激活噪音产生器。这样一来，S_2 就起到了双重的作用：当 S_1 关闭时，按钮 S_2 起到测试传感网络连续性的作用；当 S_1 处于启动位置时，S_2 可以测试噪音产生器，确保其能够产生噪音。我认为这是实现这些功能的最简单的办法。

开关的安装

如果你是从 RadioShack 公司购买的项目盒，那么它也许有两个可选的盖子（顶板），一个是金属的，另一个是塑料的。我希望你使用塑料的，因为在金属上钻孔更为困难。RadioSahck 公司使用的是 ABS 塑料，用我推荐的工具可以很容易对这种塑料进行形状加工。

你必须为那些需要共享项目盒顶板的开关和元件选择一个布局。我喜欢整洁的布局，因此我不厌其烦地使用画图软件来绘制布局图，不过使用铅笔绘制的 1∶1 草图也是几乎一样好的。只是你要保证有足够的空间放得下元件，并且尽量保持跟电路原理图中的位置一致，以减少混乱的风险。



图 3-107　打印一张开关、LED 以及其他元件的布局图贴在项目盒的盖子内侧。在盖子上每个需要钻孔的位置的中心，用锥子将纸刺穿，作出标记

将草图贴在顶板的内侧，如图 3-107 所示，然后使用一个尖头的工具，例如凿之类的东西，在每一个孔的中心位置压穿图纸，并在塑料上做好标记。在钻孔时，这些刻痕将帮助你放正钻头的位置。请记住，你需要钻多个孔来传递扬声器的声音，因为扬声器将安装在项目盒的顶板下面。结果如图 3-108 所示。

除了电源输入插座装在项目盒的一端外，我将其余的元件都装在顶板上。自然，每个孔都应该有足够的空间来匹配相应的元件。如果你有游标卡尺的话，可就派上用场了，可以用它来进行测量，并帮助选择适合的钻头。否则的话，尽可能估计得精确一点吧，过小要比过

大好。可以用打磨工具来将孔稍微扩大一点，以便能很好地匹配元件。如果你钻的是 0.1875 in 的孔，要放置的却是 5 in 的 LED，那么就必须打磨。将孔稍微扩大一点，LED 应该可以很严实地压入孔中。

如果你的扬声器没有安装孔，那么你得把它粘贴到相应的位置上。我的扬声器就是用环氧黏合剂黏贴的。注意不要用得太多，尤其是不能让任何胶水粘到扬声器的锥体上。

在项目盒的薄而软的塑料上钻大口径的孔会很成问题。钻头会钻进去并且弄得一团糟。有 3 个方法解决这个问题。

(1) 如果有平底钻头的话，可以采用平底钻头。它钻出的孔很干净整洁。

(2) 钻一系列尺寸越来越大的孔。

(3) 钻一个比所要的孔小的孔，然后再用打磨工具将孔扩大。

无论使用哪种方法，你都必须将项目盒顶板的外侧朝下，使它靠在一片无用的木板上，并夹紧或握紧它。然后从内侧往外侧钻，以使钻头通过塑料，进入木头。

最后，将元件安装在顶板上，如图 3-109 所示，并把注意力放在项目盒内侧的部件上。



图 3-108 钻孔之后的盖子外表面。只要小心地将孔标记好，利用一把普通的手钻就可以得到很整洁的效果



图 3-109 将元件添加在项目盒（见下层）的控制板上。扩音器黏好了。以防万一，备用胶被轻轻地涂在了 LED 上。单刀双掷 on/off 开关放在右上角，双刀双掷按钮放在左上角，连接磁传感器开关的接线柱放在底部

电路板将放在盒子的底部，并用 4 个带垫圈和带尼龙嵌入的锁紧螺帽的 4 号机器螺丝（螺钉）来固定。之所以要用锁紧螺帽，是为了消除螺帽在工作中松动以及掉在元件之间因而引起短路的风险。

你必须切割模型电路板使其能够放在项目盒中，请注意在切割时不要损坏上面的任何元件。在完成切割之后，还要检查板子下侧松动的铜走线碎片。

如果需要，可以在板子上钻螺栓孔，同样要注意不要损坏任何元件。然后通过这些孔在塑料盒子的底部做上标记，并在盒子上钻孔。用锥头钻在孔口扩孔（即让孔口的边沿有一定的斜度，以便平头螺丝能够紧靠孔的四周插入孔中），将小螺栓从下往上压入，并装上电路板。需要特别小心的是，不要让电路板跟项目盒靠得太紧，那样的话，会给板子施加一个弯曲应力，有可能导致板子上的焊点或铜走线断裂。

我喜欢在板子下面放一片软塑料来吸收任何的应力。因为你将使用锁紧螺母，它不会松动，所以没有必要弄得特别紧。

以防万一，在装好电路板之后，再测试一下电路。

开关的焊接

图 3-110 显示了实际的开关应该如何连接在一起。请记住 S_1 是拨动开关，S_2 是双刀双掷按钮。你的第一步是要决定它们的哪一边应该朝上。翻转开关或者按下按钮，用万用表找出哪一端是连接的。你也许希望当拨杆（键）翻转到上部时，开关处于开通状态。要特别注意按钮的方向，因为如果你将它接反的话，将导致报警器始终处于“测试”模式，这可不是你所需要的。

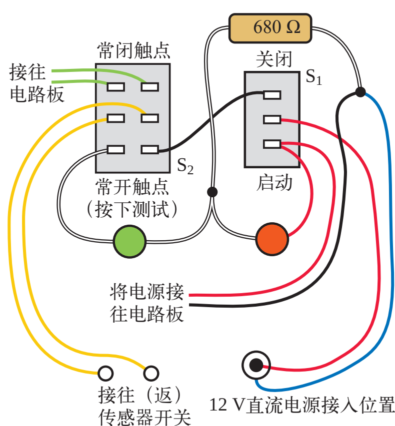


图 3-110　为了实现图 3-106 的电路，可以以本图的方式来焊接各个元件。图中红色和绿色的圆圈代表 LED，小的实心圆圈表示导线之间的连接

请记住，几乎所有双掷开关的中心端子都是开关的刀，它是直接连接到紧邻它的上方端子和下方端子的。

可以采用绞线来连接电路板和

顶板上的元件，因为绞线易于弯曲，对焊点施加的应力也较小。将每对线扭绞在一起将有助于减少混乱。

请记住在安装 LED 时，要将它们较短的那个（即负的）引脚连接到电阻器上。这里需要进行一些导线之间的焊接。你也许需要用热缩管来保护其中某些裸露的引线和焊点，以防止在你把所有东西放入盒子中时产生短路。

当你将导线或元件与开关的连接片相接时，笔式电烙铁也许无法提供足够的热量来产生良好的焊点。在这种场合可以使用高功率的电烙铁，不过当电烙铁接触 LED 时，你绝对需要使用一个良好的热宿来保护 LED，并且要将电烙铁与任何东西接触的时间限制在 10 s 以内。时间太长将导致绝缘层很快熔化，甚至会损坏开关内部的部件。

在比较复杂的项目里，将顶板与电路板更加整洁地连接在一起是一个很好的做法。为实现这个目的，理想的选择是采用多彩的扁平电缆，以及安装在板子上的插销接头。对于我们这个入门性质的项目来讲，我就不去费这个事了。因此导线四处蔓延，有点杂乱，如图 3-111 所示。

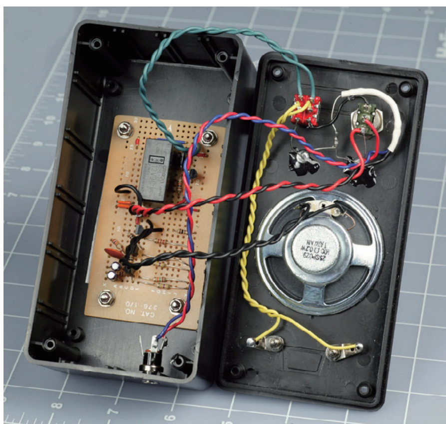


图 3-111 电路板已经安装在项目盒的底板上，电源输入插孔已经旋在盒子的一端。成对扭绞的导线已经完成点对点的连接，这里没有过多地考虑整洁的问题，因为这是一个相对比较小的项目。前屏右上角的白色绝缘是热缩管，它里面封闭有一个焊点和 680 Ω 的电阻器。在焊接按钮开关的连线时，要格外小心并保证精度，因为其触点彼此靠得很紧

最后测试

当你完成了这个电路以后，一定要测试一下！如果你还没有磁性传感开关网络的话，那么也可以用一段导线来连接相应的两个接线柱。请确保 S_1 处于关闭状态，然后将正确的插头焊接到 12 V 电源上，再将其插入电源插孔中。当你按下按钮时，绿色的 LED 应该亮起，表明两个接线柱之间是连通的。接下来断开接线柱之间的连线，并再次按下按

钮，这时绿色的 LED 会保持熄灭状态。

重新将接线柱连接在一起，将 S_1 翻转到启动位置，红色 LED 应该亮起。按下按钮，报警器就响起来。将 S_1 拨到关闭位置使报警器复位，之后再拨到启动位置，然后断开接线柱之间的连线。这次报警器再次响起，并且它应该连续作响，即使你重新连好接线柱也不会停止。

如果一切都能按照预定的方式运转，就可以把导线放在盒子里面，将盒子的顶板用螺丝固定到位了。由于你使用的是一个大盒子，应该不会出现金属部件彼此碰在一起的危险，不过还是要小心行事。

报警器的安装

在安装磁性传感器开关之前，你应该移动磁性模块，使其靠近开关模块然后再远离开关模块，同时用万用表来测量开关端子之间的连续性，用这样的方法来对每一个磁性传感器开关进行测试。当磁铁靠近开关时，开关应该闭合；而当磁铁离开之后，开关应该断开。

接下来考虑如何安装这些开关，画一个草图。始终需要记住的是，它们必须串联连接，而不能并联！图 3-112 从理论上说明了这个概念。串联后的两个端口就是你的控制盒上的接线端（在图中以绿色显示），暗红色的矩形块代表窗户和门上的磁性传感开关。由于这种安装方式往往有两根导线，你可以按照我示意的样子进行布线，但是需要将导线切断并进行焊接，以产生支路。焊点用橙色的点表示。请注意电流是如何以串联的方式走遍各个开关，最后再返回到控制盒的。

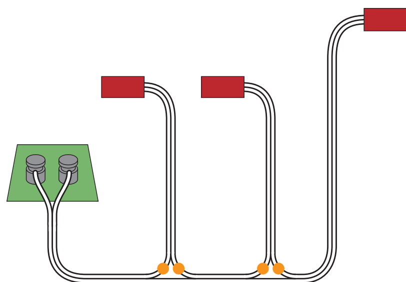


图 3-112 可以用具有双导线的白色绝缘线来连接报警器控制盒上的端子与磁性传感器开关（显示为暗红色）。由于传感器必须串联，因此在标记有橙色点的位置将导线剪断，再进行焊接

图 3-113 显示了在有两扇窗户和一扇门的场合安装磁性传感开关网络时的实际情况。其中的蓝色矩形是激活开关模块的磁性模块。

显然，你需要大量的导线。用于门铃或火炉恒温控制器的白色绞线就很不错。这通常是 20 号线规或者更粗的导线。

在你装好开关之后，将万用表的探针夹在本来需要接在报警盒子上

的那两个导线端部。将万用表设置在连续性测试档，每次打开一扇门或一扇窗，检测是否破坏连续性。如果一切如愿，再将报警器的导线接在项目盒的接线柱上。

现在来处理电源。使用你那个交流适配器，将其设置在 12 V，并插入 N 型的电源插孔，或者将电源插孔接到一个 12 V 的报警器电池上。

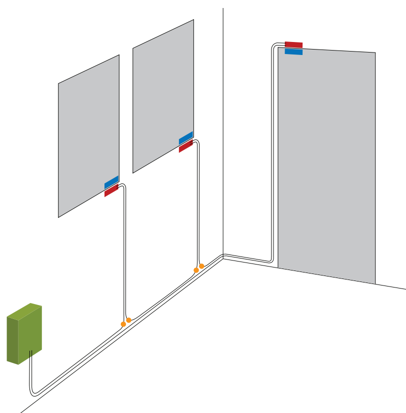


图 3-113　在有两扇窗和一扇门的安装场合，可以如图所示来安装传感器的磁性模块（蓝色矩形），而将开关模块（暗红色）靠在它们的旁边安装

若使用的是电池，那你要特别小心，一定要让连接到电源插孔中心端子的导线为电源的正端！ 12 V 的电池可以产生相当大的电流，如果接错方向的话，可能会烧坏你的元件。在最后一步毁掉自己的整个项目可是一件十分丢人的事情哦！

现在仅剩的一件事情就是给报警器盒子上的开关、按钮、电源插座以及接线柱贴上标签。你自己明白开关是用来开通和断开电源的，按钮是用来测试电路和噪音产生模块的，但是别人不知道，而你有可能希望你不在家的时候某个客人能够使用你的报警器。此外，几个月或者数年以后，你自己也有可能忘记某些细节。那时你还能记得这个装置的电源应该是 12 V 吗？

贴标签确实是一个好主意。不过如你在图 3-114 所见，我自己做的这个盒子都还没有来得及贴标签呢。



图 3-114　已经完成并装在项目盒中的侵入报警器

总结

报警器这个项目带领你经历了开发任何其他电子项目都要经历的基本步骤，具体如下。

(1) 绘制电路原理图，并确保自己理解它。

(2) 修改电路原理图，使其跟面包板的导线布局相适应。

(3) 将元件装在面包板上，测试基本功能。

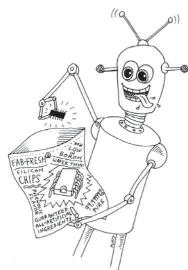
(4) 修改或增强电路，再次测试。

(5) 转移到模型电路板上，测试，并在必要时跟踪故障。

(6) 添加开关、按钮、电源插孔、插头或插座，来实现电路与外界的连接。

(7) 将所有东西装入盒子（并加上标签）。

在经历这些程序的同时，我希望你还学到了电子学的一些基本原理、一些简单的电气理论，以及电子元件的一些基础知识。这些知识将使你可以朝更为强大的集成电路的王国前进——这将是我们第 4 章要讲的内容。



第 4 章　芯片，你好！

本章内容

在进入集成电路（IC）芯片这个迷人的主题之前，我得承认一个事实，即在第 3 章中我要你做的有些事情本来是可以用更简单一些的方法来完成的。那这是不是说你在第 3 章里面所做的事情完全是在浪费时间呢？不！我一直坚信，通过用老式的元件（电容器、电阻器以及晶体管）来搭建电路，你将对电子学的原理获得最深入的理解。不过，你马上会发现，通过使用集成电路芯片——它包含有数十个、数百个甚至数千个晶体管，有些东西可以得到简化。

购物清单（实验 16 到实验 24）

工具

我唯一要推荐的一个新工具，就是跟芯片有关的逻辑探头。它可以告诉你一个芯片上的某个引脚是处于高电位还是低电位，这对于判断你的电路正在干什么很有用处。这个探头具有记忆功能，它会点亮 LED，并保持其点亮的状态，以对那些变化太快、眼睛难以看到的脉冲进行响应。

在网上搜索，购买一个最便宜的逻辑探头就可以了。我没有任何特

别的牌子推荐。图 4-1 所示的逻辑探头就很具有代表性。



图 4-1 逻辑探头用于检测芯片引脚的高电位和低电位，可以发现那些变化很快、凭肉眼无法感觉到的脉冲

备用品

集成电路芯片

如果买下本章购物清单上的所有东西，并且你已经购买了我以前的清单中列出的基本元件（如电阻器、电容器等），那么你就已经备齐了本章所有项目需要的所有东西。

芯片很便宜（目前大约是 50 美分一片），我建议你多买一些。这样的话，一旦你毁坏了一个，就还有备用的。此外你也需要为未来的项目作些储备。

在购买芯片之前，请先阅读下一节“基础知识：选择芯片”。芯片很容易从各家大型电子零售商处得到，有时也可以从 eBay 上买到。附录给出了芯片供应商的完整 URL 地址列表。

基础知识

选择芯片

图 4-2 所示的就是通常所称的集成电路（IC）。这种电路实际上是蚀刻在一块微小的晶片或者说硅“片”上的，并嵌入在一块黑色的塑料体内（即所谓的“封装”）。封装中的微小导线将电路与侧面的两排针脚连接在一起。在本书中，我将用“芯片”来指称整个集成电路芯片，包括其中的针脚，因为这是最常见的用法。

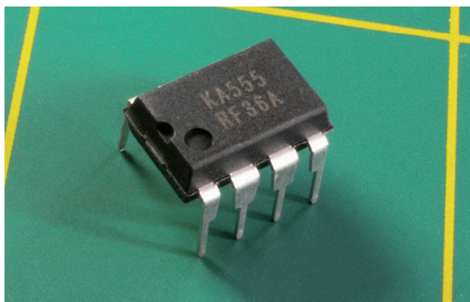


图 4-2 塑料双列针脚封装（缩写为 PDIP，更常写为 DIP）的一个集成电路芯片

这些针脚的行内间隔是 0.1 in，两排之间的间隔是 0.3 in。这个格式称作塑料双列封装，缩写为 PDIP，更加常用的写法是 DIP。图 4-2 的照片中的芯片每列有 4 个针脚，其他的芯片可能有更多的针脚。在购买芯片时，你首先要知道的是我们的实验中只使用 DIP 装置。本书不会用到更为现代的“表面安装”类型的芯片，因为它们更小、更难处理，需要用到相对较为昂贵的特殊工具。图 4-3 给出了两种封装的一个尺寸对比，较大的是 14 针脚的 DIP 封装，较小的是 14 针脚的表面安装封装。许多表面安装的芯片比图中的例子还要小。

每个芯片上面都印刷有产品型号，即芯片的型号。图 4-2 的型号是 KA555。在图 4-3 中，DIP 封装的那个芯片的型号是 M74HC00B1，而表面安装封装的那个芯片的型号是 74LVC07AD。芯片上第二行的那些数字和字母可以忽略，因为它们不是芯片型号的一部分。

请注意图 4-3，虽然图中的两个芯片看起来十分不同，但它们的型号中却都有“74”两个数字。这是因为它们都是“7400”逻辑芯片家族的成员，这个家族最初的型号是从 7400 往上编号的（7400，7401，7402，7403，等等）。现在它们常常被称为“74xx”芯片，其中的“xx”表示该家族的所有成员。我会大量使用 74xx 芯片，因此你要知道从哪里去购买它们。我将给你提供一些建议，使你知道各个芯片是干什么的，但却不会过度深究其中的细节。

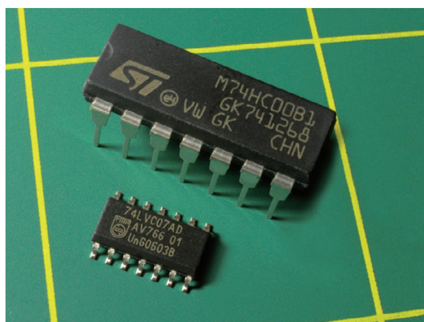


图 4-3 后面的 DIP 芯片具有 0.1 in 的针脚间隔，适合插入面包板和模型电路板。无需特别的工具即可以对它进行焊接。前面的小外形集成电路（SOIC）封装的表面安装芯片具有 0.05 in 间隔的焊片。还有 0.025 in 甚至更小（这种情况下间隔往往以 mm 为单位）针脚间隔的表面安装芯片。表面安装芯片主要是为自动安装设计的，很难进行手工安装。在这幅照片中，黄线的间隔为 1 in，用以帮助你了解芯片的实际大小

请看图 4-4，该图给出了 74xx 芯片家族的典型芯片型号的解读方法。起始的那些字母用来表示生产厂家（你可以忽略它们，因为对我们来讲，厂家是谁无关紧要）。字母之后接下来的就是“74”。在“74”的后面，你又会发现 1 个或多个字母，这些字母十分重要。74xx 家族已经进化了很多代，“74”后面的这些字母说明芯片到底是哪一代的。以下是一些常见的例子（当然还有更多没有列出）。



图 4-4 要找出芯片的家族代码（这里是 74xx），嵌入在数字之间的芯片代数（这里是 HC）也要正确。请确保买到 DIP 封装的芯片，我们不要表面安装的芯片。芯片由哪个制造商制造并不重要

- 74L
- 74LS
- 74C
- 74HC
- 74AHC

一般来讲，代数越往后，速度往往更快或者应用更为广泛。在本书中，我们将大量使用 HC 代的产品，稍后我会告诉你其中的原因。

在表示代数的字母之后，你会发现两个（有时会更多）数字。这些数字说明了这个芯片的具体功能。剩下的多余字母和数字则都可以忽略。请返回去看图 4-3，其中 DIP 封装的芯片的型号是 M74HC00B1，这告诉你它是 74xx 家族的一员，代数为 HC，功能辨识的数字是 00。而表面安装的那个芯片的型号是 74LVC07AD，说明它也是 74xx 家族的一员，代数为 LVC，功能辨识的数字是 07。为了方便，人们将这里的第一个芯片统称为“74HC00”，第二个统称为“74HC07”，这是因为不管生产厂家、封装尺寸怎样，只要统称相同，芯片内部电路的基本行为就相同。

我之所以给出如此长的一个解释，目的是让你在购买元件时能够解读产品目录。你可以搜索“74HC00”，在线经销商往往十分精明，它们会给你展示相符合的许多制造商的芯片，这些芯片的型号

除了你的搜索项以外，还会有一些前缀和后缀。

假定某个电路需要用到 74HC04 芯片。如果你在元件供应商的网站上搜索“74HC04”，你也许会找到德州仪器公司（TI 公司）生产的 CD74HC04M96，NXP 半导体公司生产的 74HC04N，或仙童公司生产的 MM74HC04N。因为它们中间都有“74HC04”，所以随便一个都可以起到同样的作用。

只是要注意，你购买的应该是大尺寸的 DIP 封装，而不是小尺寸的表面安装封装。如果型号尾部有个字母“N”，那你就可以放心，它肯定是 DIP 封装的。如果尾部没有“N”，就不能断定它是不是 DIP 封装，这时你就必须查看照片或者其他附加的信息来做进一步的了解。如果型号开头是 SS、SO 或者 TSS，那么这肯定是表面安装的，也就不是你所要的。许多产品目录会给出照片来帮助你选购正确的封装。

以下是你将用到的芯片列表。

- 555 定时器。可选用 STMicroelectronics 的 SA555N，仙童公司的 NE555D，RadioShack 公司的 TLC555，或类似功能的芯片。不要买这种芯片的“CMOS”版本，也不要买其他奇特的版本，例如高精度的版本。买最廉价的即可。数量：10 个。图 4-2 中所示的是一个 555 定时器芯片。
- 逻辑芯片 74HC00、74HC02、74HC04、74HC08、74HC32 和 74HC86。实际的型号可以是 STMicroelectronics 公司的 M74-HC00B1、M74HC02B1、M74HC04B1 等，以及 TI 公司的 SN74-HC00N、SN74HC02N、SN74HC04N 等。也可以是任何其他制造商的产品。
- 请记住，每个型号的中间都应该有字符“HC”，并且要 DIP 或 PDIP 封装的，不要表面安装的。数量：每个型号至少 4 个。
- 4026 十进制计算器（一种十进制芯片）。选用 TI 公司的 CD4026BE 或其他类似芯片。数量：4 个（你要用到 3 个，但由于这是一种 CMOS 芯片，对静电很敏感，因此你至少要有 1 个备件）。任何型号中有数字“4026”的芯片都可以。

- 74LS92 计数器芯片，74LS06 集电极开路反相器芯片，及 74LS27 三输入异或芯片。数量：每种型号 2 个。请注意这些产品型号中的“LS”字样！有一个实验，在其中我希望你用 LS 代的芯片而不用 HC 代的芯片。

IC 插座

我建议你不要直接在模型电路板上焊接芯片。因为如果你损坏了一个芯片，就很难卸下来。买一些 DIP 插座，将插座焊接在板子上，然后再将芯片插在插座上。你可以使用最便宜的插座（对于我们的用途来讲，无需使用触脚镀金的插座）。你需要 8 脚、14 脚和 16 脚的 DIP 插座，例如 RadioShack 公司的 276-1995、276-1999 以及 276-1998。见图 4-5。数量：每种至少 5 个。

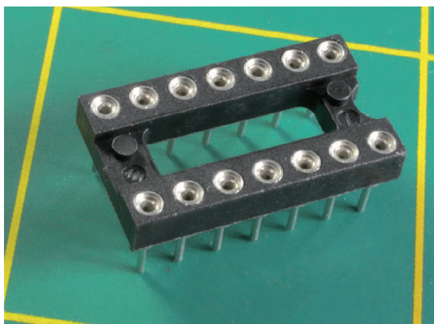


图 4-5　在模型电路板上焊接电路的时候，采用插座有很多好处，这可以使集成芯片免受过热危险，降低遭受静电冲击的危害，并且更容易进行替换

低功率 LED

你将用到的逻辑芯片不是为输出大功率设计的。如果要驱动很亮的 LED 或驱动继电器，那你就得添加晶体管，以对这些芯片的输出进行放大。由于添加晶体管是件麻烦的事情，因此我推荐另一种方案：采用特别低功耗的 LED。它们所需的电流可低至 1 mA，例如台湾亿光公司的 T-100 型低电流红色 LED，具体的型号是 HLMPK150（图 4-6 所示是这种 LED 与常用的 5 mm 大小 LED

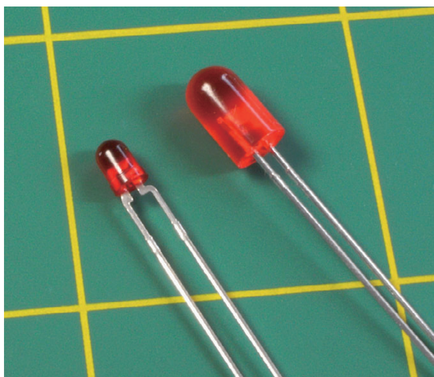


图 4-6　HC 系列的逻辑芯片的每个引脚只能输出 4 mA 的额定电流，而右边所示典型的 5 mm 的 LED 需要 20 mA 的正向驱动电流，因此不能用 HC 系列的逻辑芯片来驱动。左边所示的微型低电流 LED 在与恰当的电阻器串联时，所需的电流可以小到 1 mA，对于需要看到输出结果而又不想遇到什么问题的测试电路来讲，是一个理想的选择

的比较）。数量：至少 10 个。

LED 数码显示器

在我们的项目中，至少有一个是需要点亮七段 LED 数码显示器的。你可以购买 3 个独立的数码显示器，也可以买 1 个封装有 3 个数码显示器的模块，例如台湾今台公司的高效红光漫射型的数码显示器，具体型号是 BC56-11EWA，在本书的一些电路原理图中将特别提到这种数码显示器。如果购买的是其他品牌的七段数码显示器，那你必须保证它是“共阴极”LED 型的（不要购买液晶 LCD 数码显示器，它们所需的电子驱动电路不同）。如果有不同功耗的产品可供选择的话，请选择消耗电流最小的产品。见图 4-7。

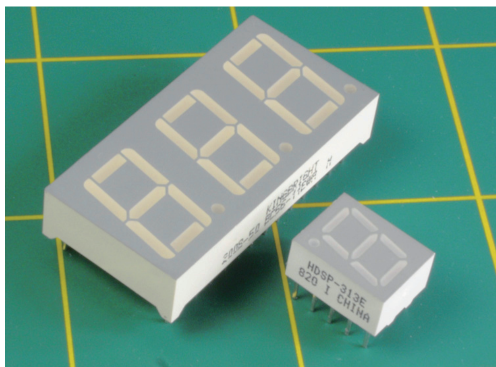


图 4-7 七段显示器是显示数字输出的最简单方法，可以由某些 CMOS 芯片来进行驱动。在已完成的电路项目中，它们往往被安装在透明红色聚丙烯塑料屏的后面

闩锁继电器

你需要拥有两个线圈的（而不是单个线圈的）5 V 闩锁继电器。其中第一个线圈使继电器往一个方向翻转，而第二个线圈则使继电器翻转回来。这种继电器的两种状态都是无源的，保持在其中的任何一种状态都不会消耗额外的功率。我建议使用松下公司的 DS2E-SL2-DC5V 继电器。如果你购买的是其他型号的继电器，请确保它是双线圈闩锁的，运行电源为 5 V 直流，至少能够开关 1 A 的电流，并且两个线圈应为“2 form C”的封装形式（即双刀 C 型触点的形式，其中一个常闭、一个常开，在常开触点闭合前先断开常闭触点），以便可以安装在面包板上。

电位器

你需要准备 5 kΩ、10 kΩ 和 100 kΩ 的线性电位器，每样一个。此外，还需要一个 10 kΩ 的**微调电位器**（trimmer potentiometer，有时就简称 trimmer）。无论哪个制造商都可以。

调压器

由于许多逻辑芯片需要 5 V 的精确直流电压，因此你需要一个调压器来产生 5 V 的直流电压。LM7805 就是干这个事情的。在这里我们再次看到了以前的芯片型号表示方法，即芯片型号的前面或后面是表示制造商和封装形式的缩写字母，仙童公司的 LM7805CT 芯片型号就是这样一个例子。任何制造商的产品都可以，但封装必须是图 4-8 中的样子。如果可以选择的话，请购买至少能够提供 1 A 电流的那种。

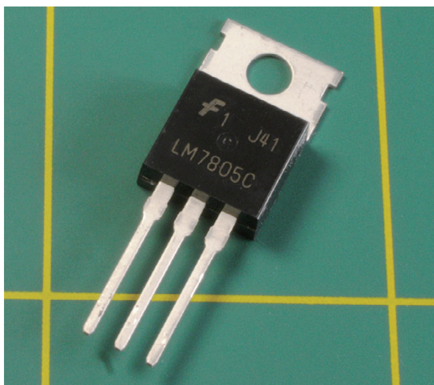


图 4-8 许多集成电路芯片都要求精确控制的 5 V 电源，图中这个调压器就可以在输入为 7.5 V 到 9 V 的电压时输出 5 V 的电压。左手边的针脚为正端输入，中间针脚为共地，右手边的针脚为 5 V 的输出。对于超过 250 mA 电流的场合，应该通过其顶部的孔在上面安装一个金属散热器

触动开关

这些是单刀单掷按钮（短暂开关），往往有 4 个脚。可以找 ALPS 公司的型号为 SKHH AKA010 的产品，或任何类似的产品，只要可以装在面包板或模型电路板上就可以了。见图 4-9。

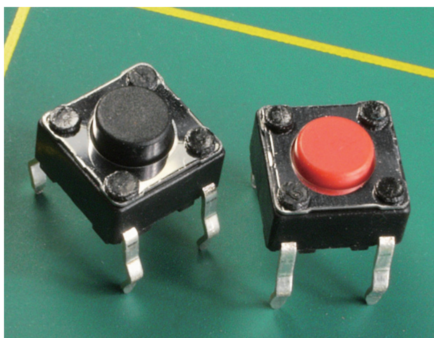


图 4-9 在你按压触动开关时，它会将指尖的触动传递下去。这种开关几乎都是单刀单掷的按钮，安装在电路板上，具有 0.1 in 的标准孔距

12 键数字键盘

请选用威利文公司的“有共同输出的 12 键键盘”（没有型号信息，不过在 All Electronics 公司的商品清单代码 KP-12 下可以找到这件东西）。数量：1 个。

这种键盘跟一种老式的按键电话具有相同的键盘布局。它至少应该有 13 个针脚或触点，其中 12 个针脚分别连接到不同的按键，第 13 个

针脚则连接到所有按键的另一个接线端。换句话说，这最后一个针脚是所有按键共用的，因此常将这种键盘描述成有一个“共同的输出”。请你不要买“矩阵编码的”键盘，它的针脚少于 13 个，且需要外部电路来驱动。请参考图 4-10 和图 4-11。如果你找不到我所推荐的威利文键盘，那就请你仔细阅读键盘的描述和照片，确保不要买到矩阵编码的键盘，且要保证键盘有一个公共端。



图 4-10　在购买数字键盘时，应该买 12 键“电话按键布局的”那种，并且至少应有 13 个输入 / 输出触点。图中的触点位于前沿上，清晰可见

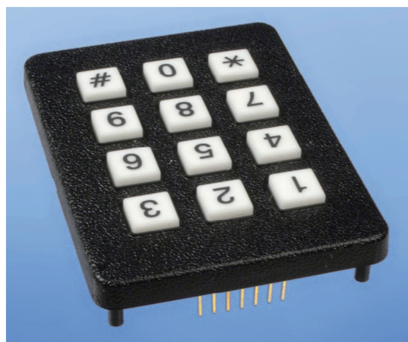


图 4-11　这个键盘的针脚数目不够，无法用于本书的电路

或者，你也可以用 12 个便宜的单刀单掷常开按钮来代替，并将它们安装在一个小的项目盒中。

背景知识

芯片的由来

将固态器件集成于一个小封装中的概念源自英国的雷达科学家杰弗里・达默。他于 1956 年试图制造一个集成电路，但是失败了，而在此前的很多年，他就开始谈论这个想法了。直到 1958 年，第一个真正的集成电路才由德州仪器公司的杰克・基尔比制造出来。基尔比的集成电路使用的是锗，因为当时这个元素已经在半导体中得到了应用（在下一章关于矿石收音机的内容里，你将遇到锗二极管）。不过罗伯特・诺伊斯（图 4-12）有一个更好的主意。

诺伊斯 1927 年出生于美国艾奥瓦州，他于 20 世纪 50 年代来到加利福尼亚，并在威廉・肖克莱手下找到了一份工作。当时肖克莱的生意才开始没有多久，主要的业务就是围绕他在贝尔实验室与人共同发明的晶体管开展工作。

诺伊斯就是对肖克莱的管理方法感到失望的 8 个雇员之一，他离开了肖克莱并创建了仙童半导体公司。在当仙童公司的总经理的时候，诺伊斯发明了基于硅的集成电路，这避免了跟锗相关的制造困难。他被公认为是使得集成电路成为现实的人。

集成电路早期主要用在军事上，因为民兵导弹的引导系统需要小而轻的器件。这种应用消耗了从 1960 年到 1963 年期间生产的几乎所有芯片，而在此期间，单片的价格也从大约 1 000 美元降低到了 1963 年的 25 美元。

在 20 世纪 60 年代后期，出现了中等规模的集成电路芯片，每个里面包含有数百个晶体管。在 20 世纪 70 年代中期出现了大规模集成电路芯片，每个芯片上可以集成数万个晶体管，而如今的芯片则可以包含多达几十亿个晶体管。

罗伯特・诺伊斯最终与戈登・摩尔共同创建了英特尔公司，但诺伊斯不幸于 1990 年因心脏病去世了。通过 http://www.siliconvalley-historical.org 网站，你可以了解到更多有关芯片设计与制造的早期历史故事。



图 4-12　罗伯特・诺伊斯的照片（源自维基百科共享资源），摄于他职业生涯的后期

实验 16　产生脉冲

我现在将给你介绍有史以来最成功的芯片——555 定时器。由于在

网上可以找到大量它的使用指南，因此你可能觉得在这里无需对它进行介绍，不过我有介绍它的 3 个理由。

(1) 对它进行介绍是不可避免的，你必须知道这个芯片。据估计，如今它每年的产量仍然有 10 亿只之多。它将以这样或那样的方式被应用在本书接下来的大多数电路中。

(2) 它为我们提供了一个介绍集成电路的最佳实例，因为它很可靠，且通用，并且能够说明我们稍后将要用到的比较器和触发器的功能。

(3) 我读过几乎所有关于 555 的使用指南，从仙童半导体公司的原始参数说明书到各种电子爱好者的教材，我得出的结论是：555 的内部工作机制一直都解释得不是清楚的。我希望让你理解对其内部发生的事情，有个图像化的理解，因为你若没有这种图像化的理解，就难以对这种芯片加以创造性的利用。

在这个实验中，以下是你需要用到的。

- ❒ 9 V 的电源。
- ❒ 面包板，跳接线，万用表。
- ❒ 5 kΩ 的线性电位器，数量：1 个。
- ❒ 555 定时器芯片，数量：1 个。
- ❒ 电阻器和电容器套装包。
- ❒ 单刀单掷触动开关，数量：2 个。
- ❒ LED（任何类型），数量：1 个。

步骤

555 定时器十分可靠，不过理论上仍然会因静电冲击而损伤和毁坏。因此，为安全起见，在接触这个芯片之前，你自己应该接地。具体请参考实验 18 中“将自己接地”的警告。尽管那个警告主要是针对 CMOS 类型芯片的——这种芯片特别脆弱，但将你自己接地始终是个很明智的预防措施。

在芯片上寻找一个小圆圈标识，这是一个**凹痕**，是模压在芯片体上的，让针脚朝下，旋转芯片，使这个标识在左上角。另一种情况下，芯片的一端有一个凹槽，请转动芯片，让凹槽的一端位于上部。

芯片的针脚总是从左上角（靠近凹痕的针脚）开始沿逆时针方向编

号的。参考图 4-13，图中还标出了 555 芯片的针脚名称，不过就目前来讲，没有必要知道其中的大部分针脚的名称。

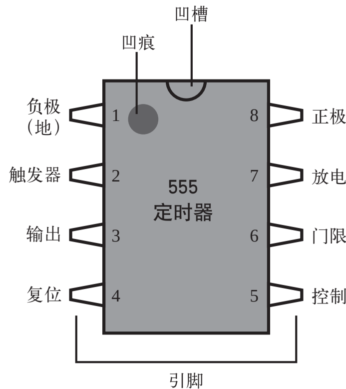


图 4-13　555 定时器芯片的俯视图。芯片体上有一个凹槽表示最上端，或有一个圆圈的凹痕来表示左上角，芯片上的针脚总是按逆时针方向从左上角开始编号的

将芯片插在面包板上，使其针脚跨坐在面包板中央自上往下的空道两侧。现在你可以很容易地给其两侧的针脚供电，并从这些针脚读到输出。图 4-14 为第一个项目的元件布局提供了精确的指引。其中定时器标识为 IC_1，IC 是 Integrated Circuit（集成电路）的通用缩写。

所有的集成芯片都需要电源。555 芯片以引脚 1 为负端、以引脚 8 为正端来进行供电。如果不小心加反了电压，芯片就会永久损坏，因此必须小心连接跳接线。

设置电源，让其提供 9 V 的电压。在这个实验中，比较方便的选择是从面包板的右侧供正电，从左侧供负电，正如图 4-14 所示的那样。C_3 是一个较大的电容器，至少要 100 μF，它跨接在电源的两端，对电源电压起平滑作用，并就地储存电荷，以便为快速开关的电路供电，同时也可以防止其他原因引起的电压瞬时降落。尽管 555 芯片不是开关特别快速的芯片，但其他芯片是，因此你应该养成对它们进行保护的习惯。

先将电位器逆时针旋到底，使我们所用的两个端子之间的电阻达到最大。此时，若将万用表的探针放在引脚 2 上，并按下 S_1，那么你会观测到大约 6 V 的电压。

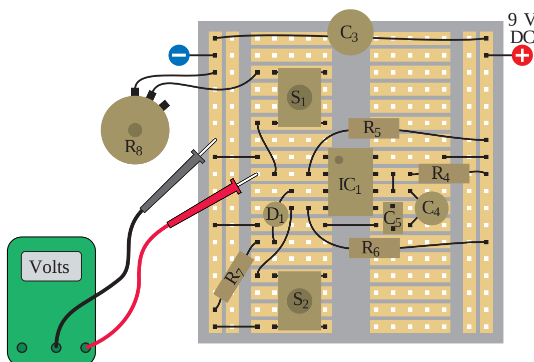


图 4-14　这个电路使你可以研究 555 定时器芯片的行为。如图所示，用万用表来监测针脚 2 上的电压。请注意，在标识为 R_1、R_2、R_3 的位置并没有电阻器，在 C_1 和 C_2 的位置也没有电容器，因为在稍后的电路中会加入这些元件，所以预先做了标识。这个电路中的元件值为：

R_4：100 kΩ	R_8：5 kΩ 线性电位器	IC_1：555 定时器
R_5：2 K2	C_3：100 μF 电解电容器	S_1，S_2：单刀单掷触动开关（按钮）
R_6：10 kΩ	C_4：47 μF 电解电容器	D_1：普通的 LED
R_7：1 kΩ	C_5：0.1 μF 陶瓷电容器	

在 S_1 按下之前，R_5 将保持触发器（针脚 2）为正。当 S_1 按下时，它将根据电位器 R_8 的设置，来降低触发器的电压。当触发器的电压降低到低于 1/3 的电源电压时，芯片的输出（针脚 3）将变高，其持续时间由 R_4 和 C_4 决定。S_2 通过降低针脚 4（复位引脚）的电压，来使定时器复位（置零）。C_3 用来平滑供电，C_5 用来隔离针脚 5（控制引脚），以使其不会干扰我们的测试电路的运行（在未来的一个实验中，我们将用到这个控制引脚）

接下来顺时针旋动电位器，再次按下 S_1。如果 LED 没有亮起，则继续旋动电位器，按下并释放按钮开关。当电位器旋到大约 2/3 的位置时，如果你按下并释放按钮的话，会看到 LED 将持续亮大约 5 s。以下是一些你必须自己去核实的事实。

- ❐ 在你释放按钮之后，LED 将继续保持发光。
- ❐ 你可以按下按钮任意长的时间（短于定时器的周期即可），LED 总是发出固定时间长度的脉冲。
- ❐ 定时器是由引脚 2 上的一个电压降来触发的。这可以用万用表来验证。
- ❐ LED 要么是完全点亮的，要么是完全关闭的。当其关闭时，你看不到一丝光亮，并且从关闭到点亮以及从点亮到关闭的转换时刻是相当清楚和准确的。

参照图 4-16，考虑一下应该如何在面包板上布置元件，然后看看图 4-15 的电路原理图，弄明白其中的原理。稍后我还要在这个电路中加入更多的元件，我特意将这些待加入的元件标记为 R_1、R_2、C_1 和 C_2，便于与你在 555 定时器的参数说明书上看到的相一致。这样一来，在初始的这个电路里电阻就是从 R_4 开始编号的，而电容则是从 C_3 开始编号的。

当 S_1（触动开关）断开时，555 定时器的引脚 2 通过阻值为 2K2 的电阻器 R_5 接受正电位。由于定时器的输入电阻特别高，因此引脚 2 上的电压几乎是 9 V 的满电压。

当你按下按钮时，按钮会通过 5 kΩ 的电位器 R_8 将负电压连接到引脚 2。这样一来，R_8 和 R_5 就形成了一个分压器，引脚 2 位于其中间端子上。你也许还记得，在以前测试晶体管的时候，曾经接触过分压器的概念。电阻之间的电压将发生变化，具体取决于电阻的阻值。

如果将 R_8 往上旋转到中途，其值大约等于 R_5，那么连接在引脚 2 上的中间端子的电压将大约为 9 V 供电的一半。不过，当你继续旋动电位器使其阻值进一步降低时，负电压端就会超过正电压端的贡献，引脚 2 上的电压就会逐渐下降。

如果万用表的引线上有弹簧夹，那么你可以将其钩在最近的跳接线上。然后当你上下旋动电位器并按下按钮时，就可以专心观察万用表的读数。

图 4-15　这是图 4-14 所示电路的电路原理图。对于第 4 章中的每个电路，我都将给出一个尽可能接近面包板上元件布局的电路原理图。这不一定总是最简单的布局，但却将使你更容易搭建电路。本图中各元件的参数值请参考图 4-14

图 4-16　这是元件安装在面包板上之后的样子。弹簧夹夹在 100 μF 的电容器与电位器之间的连线上。注意图中电源的输入端还没有接好

图 4-17 中的图形说明了所发生的事情。上图所示的是当电位器旋转到不同阻值并随意按下按钮时，施加在引脚 2 上的电压。下图显示了当且仅当引脚 2 上的电压降低到 3 V 以下时，555 定时器才被触发。为什么 3 V 会这么特别呢？因为它正好是我们 9 V 的电源电压的 1/3 ！

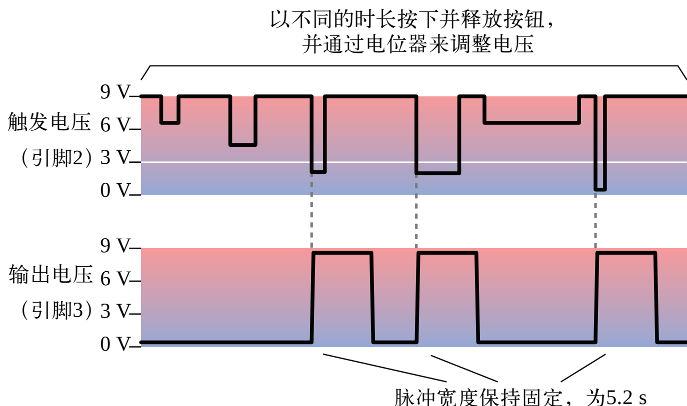


图 4-17　当以不同的时长按下按钮，且电位器具有不同阻值设置时，触发器（引脚 2）上的电压波形如上图所示。下图所示为输出（引脚 3）的电压波形，当引脚 2 上的电压降低到低于供电满电压的 1/3 时，引脚 3 上的电压就上升到几乎等于供电电压

以下是需要牢记的一些信息。

- 当触发器（引脚 2）的电压降低到低于供电电压的 1/3 时，555 定时器的输出（引脚 3）发出一个正脉冲。
- 555 定时器每次发出相同时长的正脉冲（只要你不在引脚 2 上施加过长的低电压）。
- 较大的 R_4 阻值或较大的 C_4 容值将延长脉冲。
- 当输出为高（引脚 3）时，其电压几乎等于供电电压。当输出为低时，其电压几乎为零。

可见，555 定时器将其周围不完美的世界转换成了一个精确、可靠的输出。它虽然不是真正瞬间地完成开关的通 / 断切换的，但其速度之快，也足可以看成是瞬间完成的了。

下面来试试另一件事情。触发定时器，以使 LED 亮起。当 LED 亮起时，按下 S_2，即第二个按钮，这将把引脚 4（即复位引脚）接地。这时 LED 将立即熄灭。

当复位电压被拉低时，无论你所施加的触发电压是多少，输出电压都将变低。

在我们利用 555 定时器来完成更多有趣的任务之前，我希望你先注意一下另外一件事情。在电路中我特意使用了电阻器 R_5 和 R_6，以保证在你首先开通定时器时，使它不会发出脉冲——只是让它准备好发脉冲。这些电阻器给触发引脚和复位引脚施加了正电压，能够确保 555 定时器被首次加电后能够进入准备运行的状态。

只要触发电压为高，定时器就不会发出脉冲（它只在触发电压降落时才会发出脉冲）。

只要复位电压为高，定时器就能发出脉冲（它在复位电压降落时会关掉脉冲）。

R_5 和 R_6 被称作“上拉电阻器”，因为它们起着将引脚电压拉高的作用。通过把引脚直接连接到电源负端，你可以轻易地抵消上拉电阻器的作用。555 定时器典型的上拉电阻器阻值是 10 kΩ。根据欧姆定律，在 9 V 的供电下，这只会流过 0.9 mA 的电流。

最后，你也许会对连接在引脚 5 上的 C_5 的作用感到疑惑。这个引脚称作“控制”脚，这意味着当你给它施加一个电压时，你就可以控制定时器的灵敏度。稍后我将深入介绍这个内容。由于我们现在还用不到这个功能，因此作为是一个良好的习惯，我们在引脚 5 上连接一个电容器，来使它免受电压波动的影响，另外也防止它干扰我们的正常功能。

在继续做实验之前，请确保你已经熟悉 555 定时器的基本功能。

基础知识

下表列出了 555 定时器在单稳态下的脉冲持续时间。

- 持续时间以秒计算，保留小数点后两位有效数字。
- 水平轴是引脚 7 与电源正端之间所接电阻器的常用阻值。
- 垂直轴是引脚 6 和电源负端之间所接电容器的常用容值。

对于不同于表中的脉冲持续时间，其计算方法是：持续时间 = 电阻值 × 电容值 × 0.000 11，其中电阻值的单位为千欧，电容值的单位为微法，持续时间的单位为 s。

47 μF	0.05	0.11	0.24	0.52	1.1	2.4	5.2	11	24	52
22 μF	0.02	0.05	0.11	0.24	0.53	1.1	2.4	5.3	11	24
10 μF	0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.52	1.1	2.4	5.2	11
4.7 μF		0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.52	1.1	2.4	5.2
2.2 μF			0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.53	1.1	2.4
1.0 μF				0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.52	1.1
0.47 μF					0.01	0.02	0.05	0.11	0.24	0.52
0.22 μF						0.01	0.02	0.05	0.11	0.24
0.1 μF							0.01	0.02	0.05	0.11
0.047 μF								0.01	0.02	0.05
0.022 μF									0.01	0.02
0.01 μF										0.01
	1 kΩ	2k2	4k7	10 kΩ	22 kΩ	47 kΩ	100 kΩ	220 kΩ	470 kΩ	1 MΩ

理论知识

555定时器原理：单稳态

在 555 定时器的塑料体内部包含一个硅晶片，其上蚀刻有数十个晶体，其连接模式相当复杂，超出了这里能够解释的限度。不过我可以将它们按图 4-18 那样进行分组，并归纳每组的功能。图中还显示了一个外部电阻器和两个外部电容器，它们的标识跟图 4-15 中是一样的。

芯片中的正负符号是电源，它们实际上分别来自引脚 1 和引脚 8。为了清楚起见，我略去了这些引脚的内部连接。

那两个黄色的三角形是“比较器”。每个比较器对两个输入（位于等腰三角形的底边上）进行比较，并根据输入是相同还是不同来产生输出（从三角形的顶点输出）。在本书后面的内容中，我们还会将比较器用在其他场合。

图 4-18 中标记有 FF 的绿色矩形是一个触发器。我将其示意性地表示为一个双刀双掷的开关，因为尽管它确实是半导体固态器件，但它的功能却跟双刀双掷开关一样。

最初给这个芯片加电的时候，触发器处于其 UP 位置，它通过输出引脚 3 送出低电压。当触发器收到比较器 A 发来的信号时，它

将往 DOWN 状态翻转，并落在这个位置；而当它收到比较器 B 发来的信号时，它将往 UP 状态翻转回去，并落在这个位置。图中比较器旁的 UP 和 DOWN 标签用于说明比较器被激活时的功能。

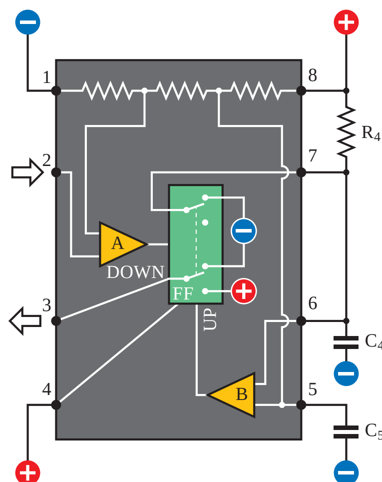


图 4-18 555 定时器的内部。白色线表示芯片的内部连接。A 和 B 是比较器。FF 是触发器，它可以在一种状态和另外一种状态之间进行复位，就像一个双掷开关一样。当比较器 A 检测到引脚 2 上的电压降落时，就会使触发器触发，使其达到 DOWN 位置，从而使引脚 3 发出正脉冲。当 C_4 充电到供电电压的 2/3 时，比较器 B 就会检测到，从而使触发器复位到其 UP 位置。这将导致 C_4 通过引脚 7 放电①

在数字电子学中，触发器是一个基本概念。没有这个概念，计算机就不能工作。

请注意连接电容器 C_4 和引脚 7 的外部导线。只要触发器处于 UP 位置，它就会吸收从正电压经 R_4 流过来的电流，从而阻止电容器正向充电。

如果引脚 2 的电压降低到供电电压的 1/3，比较器 A 感知到这一点后，就会去触发触发器。这将从引脚 3 发出一个正脉冲，并断开引脚 7 与电源负端的连接。这样一来，C_4 就可以通过 R_4 充电了。

① 图中的 DOWN 表示使 DOWN 位置接通的信号线，UP 表示使 UP 位置接通的信号线，而不表示 DOWN 或 UP 位置本身。实际的 DOWN 位置是图中的⊕端，UP 位置是⊖端。——译者注

在 C_4 充电时，定时器发出的正输出就会继续。

随着电容器上电压的增加，比较器 B 通过引脚 6（也称门限引脚）监测其状况。当电容器累积的电压达到电源电压的 2/3 时，比较器 B 将往触发器发送一个脉冲，使其状态翻转而回到原来的状态。这将使电容器通过引脚 7 放电（因此人们常常将引脚 7 称作放电脚）。同时，触发器结束通过引脚 3 发出的正电压，取而代之的是输出一个负电压。这样一来，555 定时器就返回到了其原来的状态。

以上发生的一系列事情可以简单地概括如下。

(1) 开始的时候，触发器将电容器和输出（引脚 3）接地。

(2) 当引脚 2 上的电压降落到电源电压的 1/3 或更低时，就会使输出（引脚 3）变正，并开始允许电容器 C_4 通过 R_4 充电。

(3) 当电容器充电到供电电压的 2/3 时，芯片使电容器放电，引脚 3 上的输出再次变低。

在这种模式中，555 定时器是“单稳态的”，意即它仅仅发出一个脉冲，为了得到新的脉冲，你必须再次对它进行触发。

脉冲长度的调整是通过改变 R_4 和 C_4 的值来实现的。你怎么知道该选用多大的数值呢？请查看前面“基础知识”中的表，按照该表可以进行近似取值，此外那里还提供了一个公式，你可以用这个公式来计算自己的元件值。

表中没有给出脉冲短于 0.01 s 的参数，因为这样短的单个脉冲往往没有多大用处。此外，表中的数据保留了小数点后两位有效数字，这是因为电容器的数值很少有比两位小数更精确的。

背景知识

定时器是怎样诞生的

历史回到 1970 年，当时在硅谷的肥沃土地上，还只有五六家小公司安营扎寨。一家名叫西格尼蒂克的公司从一个名叫汉斯・卡曼辛德的工程师那里购买了一个点子，这并不是一个巨大的突破性概念——只需要 23 个晶体管和一捆电阻器就可以实现一个可编程定时器的功能。这个定时器具有多用途、稳定而简单的优点，然而比起

其主要的卖点来——它采用当时正在新兴的集成电路技术，西格尼蒂克可以将所有这些元件都做在一个硅片上，这些优点可以说是微不足道的。

这个电路的实现进行了反复的试验。最初的整个电路是由卡曼辛德独自制作，使用现成的晶体管、电阻器以及二极管在面包板上搭建出来，尺寸很大。当它能够工作以后，他开始对各个元件的参数进行微小的变动，以判断这个电路能否经受得住生产中参数的变化以及诸如芯片在使用中发生温度变化之类的因素的影响。他至少制作了 10 个不同版本的电路，花费了几个月的时间。

接下来的是手艺活。卡曼辛德坐在绘图桌旁，使用一把特别封装的 X-Acot 刀具，将他的电路刻制到一块很大的塑料片上。然后西格尼蒂克公司在照相时按大约 300∶1 的比例将他刻制的图形做了缩小。他们将这个图像蚀刻在微小的硅片上，并将每个电路嵌在一个 0.5 in 的矩形黑塑料块里，顶上印制了产品的型号。这样，555 定时器就诞生了。

它成了历史上最成功的芯片，不仅卖出的数量最多（多达数百亿，并且还在增加），而且其设计久经考验（在约 40 年中都没有改动过）。555 定时器已经应用在从玩具到宇宙飞船的几乎每一样东西中。它可以使灯光闪烁，激活报警系统，在蜂鸣声之间增加间隔，以及产生蜂鸣声本身。

今天，芯片设计往往是由大型团队来完成的，而芯片的测试则是使用计算机软件来仿真它们的行为。因此，计算机中的芯片使得人们可以设计出更多的芯片。汉斯·卡曼辛德这种单打独斗的设计者的全盛期已经成为过去，但是他的天才却存于每一个从制造设备中生产出来的 555 定时器中（如果你还想了解更多关于芯片的历史，请参考 http://www.semiconductormuseum.com/Museum_Index.htm）。



图 4-19 西格尼蒂克公司的 555 定时器芯片的发明者和研发者——汉斯·卡曼辛德

基础知识

为什么555定时器很有用

在单模态下（也就是你刚刚看到的模态），555 定时器将发出单个固定（但可以编程）长度的脉冲。你能想到一些应用吗？考虑一下用 555 定时器发出的脉冲来控制其他元件的应用。也许可以用在户外照明的运动传感器上。当红外探测器“看到”某个物体运动时，使照明灯点亮一段特定的时间——这个时间可以用 555 定时器来控制。

另一个应用场合是烤面包箱。当有人把一片面包放入烤箱中时，就会使一个开关闭合，从而触发一个烤面包周期。为了改变周期的长度，你可以用一个电位器来代替 R_4，并将其连在一个外部旋钮上，用以确定烤好的面包的颜色深度。在烤面包周期结束的时候，555 的输出将通过一个功率晶体管，从而激活一个线圈（类似继电器，但它没有开关触点），使烤箱停止工作。

汽车挡风玻璃的清扫器（雨刮器）是间歇工作的，也可以用 555 定时器来控制——在较早的汽车上也确实是这样的。在第 3 章结尾处描述的防盗报警器可不可以用呢？在我列出的许多特征中，有一个到现在都还没有实现，就是在经过一段固定时间的报警之后，报警器应该自动关闭。我们可以用 555 定时器输出的跳变来实现这一点。

你刚刚做过的试验看似简单平凡，但它实际上却暗示了各个应用可能。

使用555定时器时的限制

(1) 这个定时器必须在 5 V 到 15 V 的稳定电压源下运行。

(2) 大多数制造商推荐，引脚 7 上连接的电阻器的阻值应是 1 kΩ 到 1 MΩ。

(3) 如果你需要很长的时间间隔，你想将电容器的容值设置得多高就可以设置得多高，但是定时器的精度将降低。

(4) 在 9 V 的电源下，输出电流可以高达 100 mA。这对于小继电器或微型扬声器来讲足够了，在接下来的实验中你就会明白这一点。



注意引脚“洗牌”

在本书的所有电路原理图中，我显示芯片的原则是从上往下看，引脚1位于左上角位置。你在其他地方，例如在网上或者其他书上看到的电路原理图，也许会以其他方式来标注芯片的引脚。为了绘制电路图的方便，人们往往会调换芯片引脚的位置，因此引脚1就不一定紧靠着引脚2。

请看图4-20的电路原理图，将其与图4-15进行比较。两者的连接是一样的，但是图4-20中的电路原理图对引脚进行了重新组合布局，在视觉上接线变简单了。

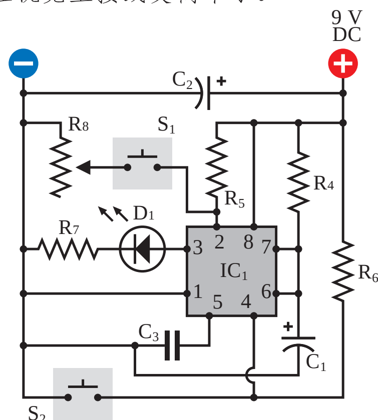


图 4-20　许多人在绘制电路原理图时，会对芯片的引脚进行“洗牌”，以使电路原理图更小、更简单。这对于搭建电路来讲没有好处。本图中的电路原理图跟图 4-15 是一样的。但按照这个版本在面包板上搭建电路将更加困难

引脚“洗牌”很常见，因为绘制电路的软件喜欢这样做。对于较大的芯片来讲，为了清楚地表示电路原理图的功能，也很有必要这样做（例如，在表示存储器芯片时，就会按引脚名的逻辑来分组而不按物理位置来分组）。当你第一次学习使用芯片时，我认为在电路原理图中显示出芯片引脚的实际物理位置要更容易理解一些。所以在本书中我就按引脚的实际位置来显示芯片。

实验 17　设置你的音调

这里将教你使用 555 定时器的另外两种方法。

你除了需要用到实验 16 中所用的东西之外，还需要如下东西

- ❒ 增加一个 555 定时器，数量：1 个。
- ❒ 微型扬声器，数量：1 个。
- ❒ 100 kΩ 线性电位器，数量：1 个。

步骤

保持实验 16 中的元件在面包板上的位置不动，在它们的下方添加电路的另一个部分，如图 4-21 和图 4-22 所示。将电阻器 R_2 插入引脚 6 和引脚 7 之间，取代原来电路中这两个引脚之间的短路跳接线。在引脚 2 上不再加任何外部输入，取代它们的是在引脚 2 和引脚 6 之间加入一根跳接线。做到这一点，最容易的办法是在芯片的头上走线。

在图 4-22 的电路原理图中，我忽略了电源两端的平滑电容器，因为我假定你是在前一个实验的面包板上搭建这个电路的，原来的那个平滑电容器仍然是有效的。

将一个扬声器与一个 100 Ω 的电阻器（R_3）串联，以取代用于显示芯片输出的 LED。由于在这个电路中我不希望使用复位功能，因此将引脚 4（复位引脚）连接到供电电源的正端，使它被屏蔽。

现在若加上电源，将会发生什

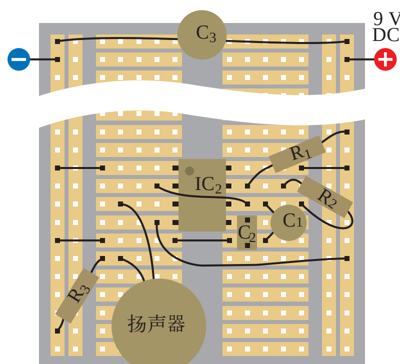


图 4-21　这些元件应该添加对应图 4-14 所示电路原理图的同一块面包板的下方。请使用以下参数来测试 555 定时器的不稳定模态。

R_1：1 kΩ

R_2：10 kΩ

R_3：100 Ω

C_1：0.047 μF 陶瓷电容器或电解电容器

C_2：0.1 μF 陶瓷电容器

IC_2：555 定时器

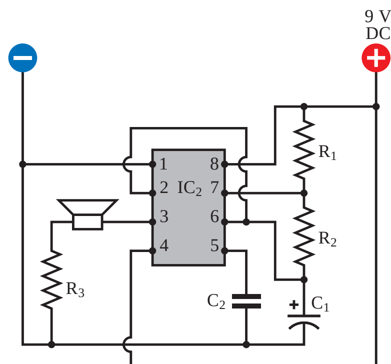


图 4-22　图 4-21 所示电路的原理图。元件参数跟图 4-21 相同

么呢？你将马上听到从扬声器里发出来的噪音。如果你没有听到任何声音，那么几乎可以肯定你在接线上出了错。

请注意你不再需要用一个按钮来触发芯片了。其原因在于当 C_1 充电和放电时，其上波动的电压将通过横跨在芯片上方的跳接线连接到引脚 2（即触发器引脚）。这样一来，555 定时器就可以自己触发自己。在“理论知识：555 定时器的原理：非稳态模式”中，我对这个问题作了更详细的描述，以供那些想了解其中精确原理的读者参考。

在这种模式中，芯片是“不稳定的”，这表示它处于不稳定的状态，只要加有电源，它就无休止地来回翻转，发送出脉冲流。这脉冲的速度是如此之快，以致扬声器将其转变成了噪音。

事实上，当采用我给出的 R_1、R_2 和 C_1 的参数时，555 芯片每秒大约会发出 1 500 个脉冲。换句话说，它产生的音调为 1.5 kHz。

对于 555 芯片的非稳态模式，请从下面“基础知识”的表格中选用 R_2 和 C_1 的参数，以得到不同的脉冲频率（请注意该表假定电阻器 R_1 的阻值固定为 1 kΩ）。

理论知识

555定时器原理：非稳态模式

图 4-23 所示为非稳态模式下 555 定时器内部发生的事情。开始时，触发器跟以前一样把 C_1 接地。不过现在电容器上的低电压是通过外部导线从引脚 7 连接到引脚 2 的。这个低电压告诉芯片去触发自己。触发器顺从地翻转到其“on”位置，并往扬声器发送一个正脉冲，同时从引脚 7 上移除负电压。

现在 C_1 也跟在单稳态中一样开始充电，只是其充电是通过电阻器 R_1 和 R_2 串联来进行的。由于这里的电阻器具有低阻值，并且 C_1 也比较小，所以

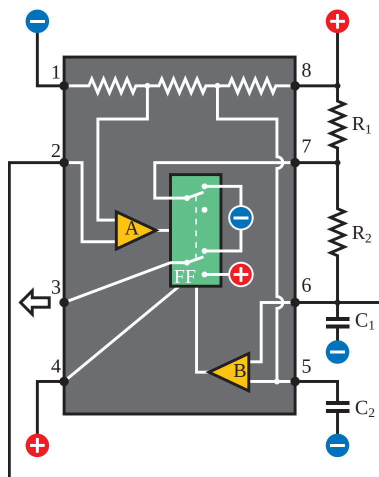


图 4-23　当 555 定时器用在非稳态模式下，电阻器 R_2 被连接在引脚 6 和引脚 7 之间，并且引脚 6 通过外部导线连接到引脚 2，以使定时器能够自己触发自己

C_1 充电很快。当 C_1 达到满电压的 2/3 时，比较器 B 跟以前一样采取行动，使电容器放电，并终止引脚 3 的输出脉冲。

该比较器放电的时间要比以前长，因为在该电容器与引脚 7（放电引脚）之间插入了电阻器 R_2。当电容器放电的时候，释放电压，它仍然是连接在引脚 2 上的。当电压下降到满电压的 1/3 或更低的时候，比较器 A 起作用，它发送另外一个脉冲到触发器，重新开始整个过程。

总结如下。

(1) 在非稳态模式下，一旦连接上电源，触发器就会拉低引脚 2 上的电压，触发比较器 A，从而使触发器翻转到其 DOWN 位置。

(2) 引脚 3（输出）变高。电容器通过串联的电阻器 R_1 和 R_2 充电。

(3) 当电容器达到供电电压的 2/3 时，触发器电压变高，引脚 3 的输出变低。电容器开始通过 R_2 放电。

(4) 当电容器上的电荷释放到满电压的 1/3 时，引脚 2 上电压的下拉会再次使触发器翻转，使循环重新开始。

不相等的on/off周期

当 555 定时器运行在非稳态模式时，C_1 通过串联的电阻器 R_1 和 R_2 充电。但是当 C_1 放电时，它仅仅通过 R_2 释放其电压，这就意味着电容器充电要比放电缓慢。当它充电时，引脚 3 上的输出为高；而当其放电时，引脚 3 上的输出为低。因此，on 周期总要比 off 周期长。图 4-24 以简单的图形说明了这个问题。

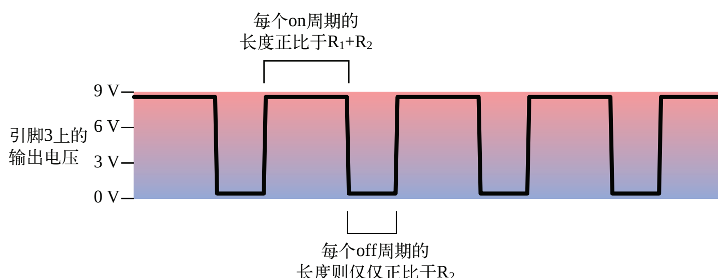


图 4-24　在通常的非稳态模式下，555 定时器通过 R_1+R_2 对电容器充电，而仅仅通过 R_2 对电容器进行放电，因此其 on 输出周期要比 off 输出周期长

如果你希望 on 和 off 的周期相等，或者你希望单独地调整 on 和 off 的周期（例如，因为你希望往另外一个芯片发送一个短暂的脉冲，其后跟随一个较长的间隔，之后再发送下一个脉冲的时候），那么你所要做的就是增加一个二极管，如图 4-25 所示。

这样一来，当 C_1 充电时，就跟以前一样电流只流经 R_1，而 R_2 则被二极管 D_1 短路了。当 C_1 放电时，二极管处于阻断状态，因此放电仍然通过 R_2 进行。

现在，充电时间就由 R_1 单独控制，而放电时间则由 R_2 控制。计算频率的公式为

$$\text{频率} = 1\,440 / [(R_1+R_2)\times C_1]$$

如果让 $R_1=R_2$，就可以得到几乎相等的 on/off 周期（之所以是“几乎”，原因在于二极管本身也存在一个大约为 0.6 V 的内部电压降）。精确的数值主要取决于二极管的制造工艺。

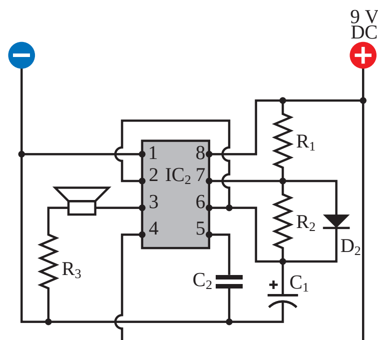


图 4-25　这是图 4-22 所示电路原理图的改进版本。在非稳态模式下的 555 定时器电路中加入一个二极管，就从电容器 C_1 的充电周期中消除了 R_2 的作用。这样一来，我们就可以用 R_1 的数值来调整 on 输出周期，用 R_2 的数值来调整 off 输出周期，使得 on 和 off 的持续时间彼此独立

基础知识

下面给出了 555 定时器在非稳态模式下的频率。

- 频率为每秒的脉冲数，保留小数点后两位有效数字。
- 水平坐标为电阻器 R_2 的常用阻值。

❒ 垂直坐标为电容器 C_1 的常用容值。

❒ R_1 被假定为 1 kΩ。

当需要计算跟表中不同的频率时，算法为：将电阻 R_2 乘以 2，结果加到 R_1，再将和乘以 C_1，最后再用结果去除 1 440。即

$$频率 = 1\,440/[(R_1+2\times R_2)\times C_1]\ (\text{Hz})$$

在这个公式中，R_1 和 R_2 的单位为 kΩ，C_1 的单位为 μF，频率的单位为 Hz。请注意频率的计算是从一个脉冲的开始到下一个脉冲的开始。每个脉冲的持续时间跟脉冲之间的长度不是一回事。这个问题已经在前一节讨论过了。

47 μF	10	5.7	3.0	1.5	0.7	0.3	0.2	0.1		
22 μF	22	12	6.3	3.1	1.5	0.7	0.3	0.2	0.1	
10 μF	48	27	14	6.9	3.2	1.5	0.7	0.3	0.2	0.1
4.7 μF	100	57	30	15	6.8	3.2	1.5	0.7	0.3	0.2
2.2 μF	220	120	63	31	15	6.9	3.3	1.5	0.7	0.3
1.0 μF	480	270	140	69	32	15	7.2	3.3	1.5	0.7
0.47 μF	1 000	570	300	150	68	32	15	7	3.3	1.5
0.22 μF	2 200	1 200	630	310	150	69	33	15	7	3.3
0.1 μF	4 800	2 700	1 400	690	320	150	72	33	15	7.2
0.047 μF	10 000	5 700	3 000	1 500	680	320	150	70	33	15
0.022 μF	22 000	12 000	6 300	3 100	1 500	690	330	150	70	33
0.01 μF	48 000	27 000	14 000	6 900	3 200	1 500	720	330	150	72
	1 kΩ	2 k2	4 k7	10 kΩ	22 kΩ	47 kΩ	100 kΩ	220 kΩ	470 kΩ	1 MΩ

非稳态模式的改进

在图 4-22 或图 4-25 所示的电路中，如果你用一个 100 kΩ 的电位器来代替 R_2，通过旋转电位器的转轴就可以上下调整频率。

另一个方法是通过引脚 5（控制引脚）来“调谐”定时器，如图 4-26 所示。断开控制引脚上连接的电容器，代之以图中所示串联的电阻器。其中 R_{10} 是 100 kΩ 的电位器，它两侧的 R_9 和 R_{11} 都是 1 kΩ 的电阻器。这可以保证引脚 5 与电源的正端以及与电源的负端之间都至少有 1 kΩ 的电阻。直接将引脚 5 连接到电源不会毁坏定时器，但是却会导

致它无法产生人耳能够听到的音调。当你来回转动电位器时，频率将在一个很大的范围内变化。如果你希望产生某个非常特别的频率，那么可以使用微调电位器来取代普通的电位器。

使用引脚 5 来调整频率的主要优点在于，可以进行远程控制。将另外一个运行于慢速非稳态模式的 555 定时器的引脚 3 的输出引出来，让其通过一个 2k2 的电阻器，然后再接到第一个 555 定时器的引脚 5 上。现在，由于一个定时器控制另一个定时器的缘故，你将得到具有两种音调的报警效果。此外，如果你在引脚 5 和地之间加一个 100 μF 的电容器，那么电容器的充电和放电将使声调按一定的坡度上升和下降，而不再是急剧切换。稍后我将对这一点做更加详细的介绍。这很自然地把我们带入了用一个芯片来控制另一个芯片的主题，它将是本次实验的最后一个变化。

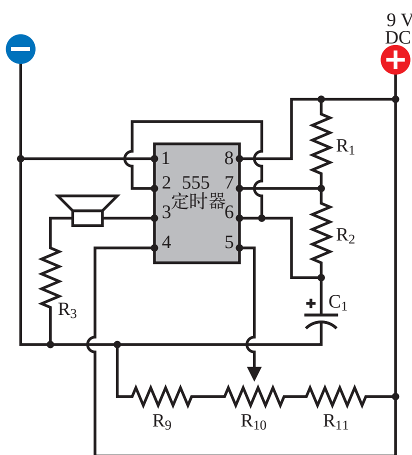


图 4-26　尽管控制引脚 5 极少使用，但它确实是很有用的。改变其上的电压可以调整定时器的速度。图中的电路使你可以测试这个特性。各元件的参数如下。

R_1：1 kΩ	R_9，R_{11}：1 kΩ
R_2：10 kΩ	R_{10}：100 kΩ 的线性电位器
R_3：100 Ω	C_1：0.047 μF

芯片的链接

一般来讲，芯片都会被设计成具有彼此通信的能力。用 555 定时器来实现这个功能是再容易不过了。

- 可以将第一个 555 定时器的输出引脚 3 直接连接到第二个 555 定时器的触发引脚 2。
- 或者，也可以用第一个 555 定时器的输出来驱动第二个 555 定时器的引脚 8。
- 也可以用 555 定时器的输出来控制其他类型的芯片或给它们供电。

如图 4-27 所示。

当第一个 555 定时器的输出变高时，其电压大约为供电电压的 70% ～ 80%。换句话说，当你使用 9 V 的电源时，输出为高时的电压至

少有 6 V。这仍然比第二个芯片触发其比较器所需要的最小电压 5 V 要高，因此不会存在什么问题。

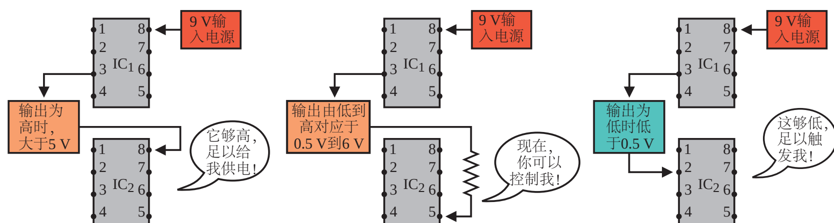


图 4-27　链接 555 定时器的 3 种方式。IC_1 的输出可以给第二个定时器供电，也可以用来调节第二个定时器的控制电压，或者激活第二个定时器的触发引脚

你可以将你的面包板上已有的两个 555 定时器链接起来。图 4-28 显示了将前面图 4-15 和图 4-22 所示的两个电路连接起来的方法。只需在第一个芯片的引脚 3（输出）和第二个芯片的引脚 8（供电电源正端）之间连一根线，并且断开引脚 8 现有的供电电源连线就可以了。新添加的导线以红色显示。现在，当你按下按钮激活第一个芯片时，它的输出就会给第二个芯片供电。

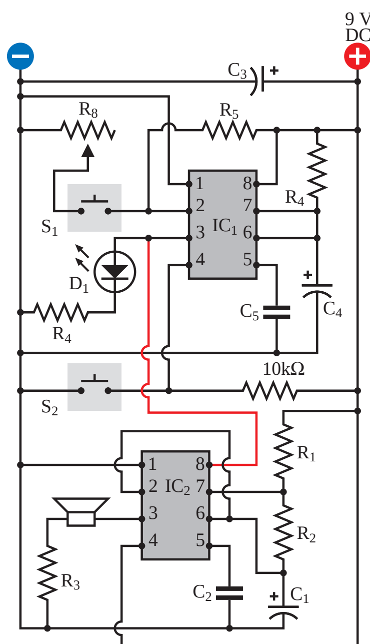


图 4-28　断开第二个定时器引脚 8 上的电源连线，并且另外连一条线来替代（图中的红线），就可以将图 4-15 和图 4-22 所示的两个电路简单地组合起来

你也可以用一个芯片的输出来触发另一个芯片（也就是说，你可以将第一个芯片的引脚 3 连接到第二个芯片的引脚 2）。当第一个芯片的输出为低时，其电压将低于 0.5 V。这远低于第二个芯片激活所需要的门槛电压。为什么要做这种事情呢？我想，也许你想让两个定时器都运行于非稳态模式，以便在第一个芯片发出的高电平脉冲结束的时候，可以去触发第二个芯片，使它开始发出一个高电平脉冲。实际上，你可以按这种方

式来链接任何你所需要数目的芯片，并把最后一个芯片的输出反馈回去，来触发第一个芯片，这可以用来使一系列的 LED 依次闪亮，就像圣诞节的彩灯一样。图 4-29 显示了将 4 个定时器按这种方式链接起来的情况，图中的布局所占用的空间是最小的（可以在模型电路板上一一对应地逐点连线来搭建这个电路，但不能用面包板形式的那种模型电路板）。如果使用相对较高阻值的电阻器来限制负载电流的话，那么 1 号到 4 号芯片的每个输出都可以驱动大约 10 个 LED。

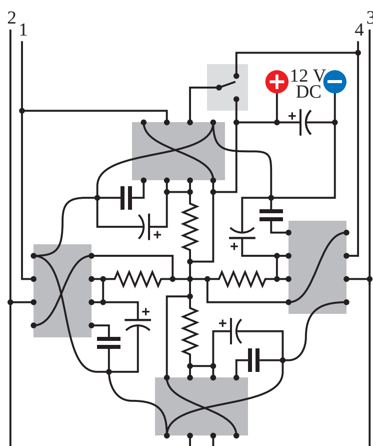


图 4-29　将 4 个 555 定时器链接成一个环形，可以使一系列的 4 组 LED 依次闪光，就像圣诞节的彩灯或电影院广告板一样

顺便提一下，你可以使用两片 556 定时器来代替 4 片 555 定时器，以减少芯片的数目。一片 556 芯片中封装了两个 555 定时器。不过，由于这两个方案的外部连线数量（供电电源连线除外）是一样的，因此我没有自找麻烦去试这个代替方案。

你甚至可以使用单片的 558，它里面有 4 片 555，全部预设在非稳态模式。我之所以不用这个芯片，是因为其输出行为跟普通的 555 定时器不同。不过如果你愿意，可以买一片 558 定时器芯片自己玩玩。它对于实现前面提到的“4 个定时器链接”的应用十分理想。其性能参数表甚至推荐了这个应用。

最后，让我们回到在非稳态模式下修改 555 定时器频率的点子，我们可以像图 4-30 那样来链接两个定时器。图中的红线是从第一个定时器的输出引脚到第二个定时器的控制引脚之间的连线。这里我们对第一个定时器的接线重新连接了，以使其工作于非稳态模式，产生大约每秒 4 次的 on/off 输出振荡。这个输出使 LED 闪光（以使你可以凭视觉来检查所发生的事情），并通过 R_7 将信号馈送到第二个定时器的控制引脚。

但是 C_2 是一个大电容，通过 R_7 给它充电需要耗费时间。这样一来，引脚 5 感知到的电压就会缓慢上升，因此 IC_2 产生的声音音调就会

逐渐升高。然后 IC_1 达到其 on 周期的终点并自动关闭，在这一时刻，C_2 放电，IC_2 产生的声音的音调就会下降。

你可以微调这个电路来产生各种各样的声音，比起用 PUT 晶体管来完成同样的事情来，这个电路的可控性要好得多。以下是可尝试的一些其他选择。

- 使电容器 C_2 的容值翻倍或减半。
- 完全忽略 C_2，改变 R_7 的阻值来进行实验。
- 用一个 10 kΩ 的电位器来代替 R_7。
- 改变 C_4，以增加或降低 IC_1 的周期时间。
- 使 R_5 的阻值减半，同时使 C_4 的容值加倍，以使 IC_1 的周期时间基本保持不变，但是 on 时间变得大大长于 off 时间。
- 将电路的供电电压从 9 V 变到 6 V 或 12 V。

请注意，进行以上这些改变不会导致 555 定时器损坏。不过要保证供电电源的负端连接到引脚 1，正端连接到引脚 8。

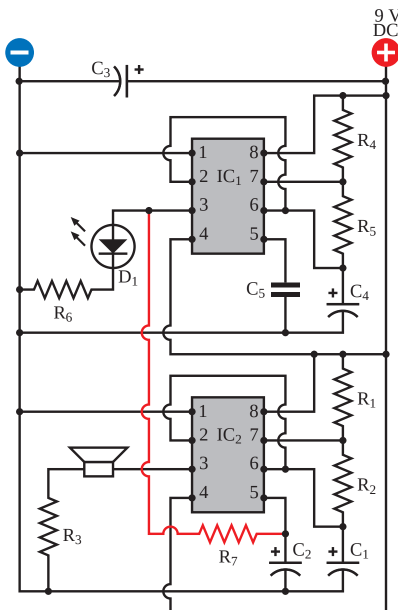


图 4-30　当两个定时器处于非稳态模式下，但 IC_1 的工作速度比 IC_2 慢很多的时候，可以利用 IC_1 的输出来对 IC_2 的输出进行调制。需要注意的是，由于本图中的电路相对前面那些电路有了较大的改动，因此我对好几个元件做了重新标识。为了避免错误，你可能需要将面包板上的旧电路移除，从草图开始重新搭建新电路。请先使用下面的元件参数。

R_1，R_4，R_6，R_7：1 kΩ

R_2，R_5：10 kΩ

R_3：100 Ω

C_1：0.047 μF

C_2，C_3：100 μF

C_4：68 μF

C_5：0.1 μF

实验 18　反应计时器

由于 555 定时器可以轻易地运行到每秒数千个周期的频率，因此可以用它来测试人类的反应。你可以与朋友比赛，看谁的反应最快。也可

以用它来观测随情绪、不同日期、不同长度的睡眠时间的变化，你的反应是如何变化的。

在进一步介绍之前，我必须告诉你，这个电路同你前面遇到的任何电路相比，其连线都要多得多。从概念上来讲，搭建这个电路并没有困难，但却需要许多的连线，并且这个电路只能搭建在拥有 63 行孔的面包板上。我们仍然分几个阶段来搭建这个电路，这样可以帮助我们边往下搭建电路，边侦测出任何的连线错误。

以下是所需的东西。

- ❒ 4026 芯片，数量：4 个（实际上只需要 3 个，多买一个以防损坏）。
- ❒ 555 定时器，数量：3 个。
- ❒ 触动开关（单刀单掷瞬态开关），数量：3 个。
- ❒ 3 个 LED 数码管，或者一个 3 位的 LED 数码管（见本章开头的购物清单），数量：1 个。
- ❒ 面包板、电阻器、电容器、万用表等，要求同以往。

第一步　显示

在这个项目中，你可以使用 3 个独立的 LED 数码管，不过我建议你购买本章购物清单中列出的今台公司的 BC56-11EWA，它在一个大封装中包含了三位数字。

你应该知道如何将数码管插在面包板上，它应该跨坐在中央沟槽的两边。如图 4-31 所示那样，靠面包板最底端插入数码管。到目前为止，还没有在面包板上放置任何其他的元件。

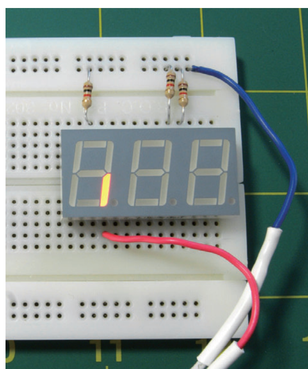


图 4-31　在七段数码管的共阴极与电源负端之间接一个 1 kΩ 的电阻器，然后用电源正端来轮流点亮数码管的每一段

接下来将电源的电压设置为 9 V，并将电源的负端接在从面包板的右手侧往上排列的一行孔中。在电源负端与今台数码管的引脚 18、引脚 19 和引脚 26 之间，各插入一个 1 kΩ 的电阻器，这些引脚称作“共阴极”引脚，这意味着数码管中每组的 LED 段共用这些负端的连接（芯片的引脚

编号如图 4-33 所示。如果你使用的是其他型号的数码管，就必须参考相应的参数表以便找到连接电源负端的引脚）。

开通电源开关，让电源正端的自由导线依次接触数码管左侧和右侧引脚所在的每排空孔。你应该可以看到每个 LED 段都会点亮起来，如图 4-31 所示。

从 0 ～ 9 的每个数字都可以用这些 LED 段的组合来表示。这些 LED 总是用从 *a* 到 *g* 的小写字母来表示的，如图 4-32 所示。此外，往往还会有一个小数点，我用字母 *h* 来表示它，不过我们不会用到小数点。

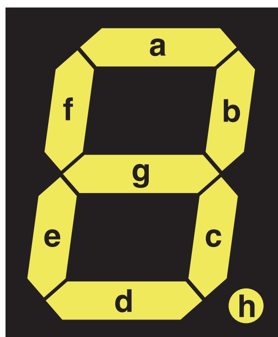


图 4-32　最基本、最常用的数码管包含七段 LED（图中用字母标识每段），外加一个可选的小数点

查看图 4-33 所示今台牌的数码管，可以看到我已经在上面标出了每个引脚的功能。你可以用引自电源正端的导线一步步地往下接触数码管的每个引脚，确保每个引脚都能点亮相应的一段 LED。

很凑巧的是，这个数码管的引脚 3 和引脚 26 都标明是第一个数码的共阴极。为什么是两个引脚而不是一个呢？我不知道其原因。你只需使用其中的一个就可以了，因为这是一个无源芯片，让未用的引脚悬空不会引起什么问题。不过要注意，千万不要给它施加正电压，那样会导致短路。

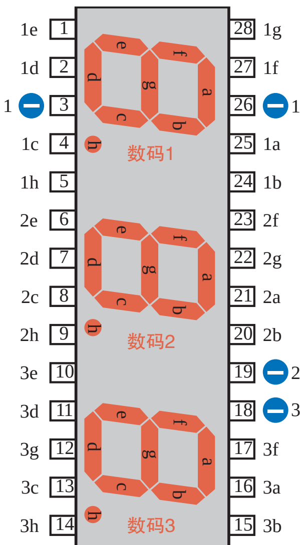


图 4-33　这个今台牌的数码管单元在一个封装中包含有 3 个数码管，可以用 3 个链接的 4026 十进制计数器来驱动。紧靠芯片的数字是引脚号。数码 1 的 a 到 g 段标示为 1a 到 1g。数码 2 的 a 到 g 段标示为 2a 到 2g。数码 3 的 a 到 g 段标示为 3a 到 3g

数码管本身没有什么能量和智能，它只是多个发光二极管而已。说实在的，除非我们能够想出一个办法来使这些 LED 按照适当的组合进行发光，否则数码管就没有多大用处。下一个步骤就是解决这个问题的。

第二步　计数

幸运的是，我们有一个 4026 芯片，它

接收脉冲，计算其个数，并产生一个专用于七段数码管的输出，使七段数码管显示 0 ～ 9 的数字。但是唯一的问题就是 4026 是相当老式的 CMOS（即互补金属氧化物）芯片，它对静电十分敏感。在继续工作之前，请阅读接下来的警告。



使自己接地

在使用老式的CMOS芯片时（它们通常从4000开始往上编号，例如4002、4020等），要确保采用以下预防性的措施，以免在你给电路上电时看不到任何事情发生而受挫。

在运输时，芯片的引脚往往是插在黑色塑料泡沫中的。这是一种导电的塑料泡沫，在使用芯片之前，应该一直让芯片嵌在里面。

如果芯片是装在塑料管中提供给你的，那么你可以取出芯片，将它们的引脚插在导电塑料泡沫片中，若找不到导电塑料泡沫，那么可以将它们装在铝箔袋中。这其中的原理在于，要防止芯片的某个引脚获得比其他引脚高得多的电位。

在处理CMOS器件时，使自己接地是很重要的。我发现每当天气干燥时，只要我穿着化纤质地的袜子在地板的塑料保护垫上走一走，就会聚集起静电。你可以购买一根防静电手腕带以使自己接地，或者在你接触电路板之前，先简单地接触一个大的金属物体（譬如一个文件柜）。我的工作习惯是，用穿袜子的脚接触一下文件柜，这就是用来防止静电的。

永远不要在芯片上电的情况下焊接CMOS芯片。

将烙铁头接地是一个好主意。

更好的办法是，根本就不焊接CMOS芯片。当你需要将面包板上的项目移到模型电路板上永久固化的时候，可以在模型电路板上焊接一个插座，然后将芯片插入插座。如果在未来出现了问题，这样也方便你拔下芯片更换新的。

在工作台上铺设一个接地的导电表面。这么做，最便宜的方法就是展开一些铝箔，并通过暖气管、水管或其他的大型钢铁物体将其接地。我喜欢用一块导电性的塑料泡沫（就是包装芯片的那种）来覆盖工作台。不过这种泡沫相当昂贵。

断开电源，将其引出导线连接到面包板的顶部，需要注意的是，在这个实验中，我们在面包板的两侧都需要用到电源的正端和负端。具体请参考图 4-34。如果面包板上左右两侧用作电源的几列孔没有正负极性颜色标识的话，我建议你使用记号笔对它们做上记号加以区分，免得产生极性错误而烧坏元件。

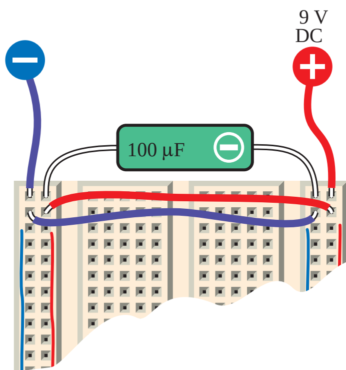


图 4-34　当在面包板上围绕着芯片搭建电路时，比较方便的做法是在面包板的两侧都接上电源的正端和负端。对于无源的定时器电路，9 V 的电源以及 100 µF 的平滑电容器可以像本图这样布置。如果面包板上左右两侧用作电源的几列孔没有正负极性颜色标识的话，我建议你自己动手用永久性的记号笔做上颜色标记

当采用 9 V 电源供电时，4026 计数芯片刚好勉强能够驱动我们的数码管中的 LED。在确保芯片朝向正确（即让引脚 1 位于左上角）的前提下，将其插在面包板上紧靠三位数码管上方的位置，在二者之间仅空出一行孔。

图 4-35 的电路原理图给出 4026 芯片引脚的连接方法，图中的箭头指明了计算器上的引脚号与数码管上的引脚号之间的连接关系。

图 4-36 标出了 4026 计数器芯片的引脚功能。你应该参照这个图去理解图 4-35 的电路原理图。

我们在 4026 计数器的引脚 1 与电源正端之间连接一个触动开关，在引脚 1 与电源负端之间接一个 10 kΩ 的电阻器，以保证在按下开关之前 4026 计数器的输入为负。在确保电源正、负端连接正确的前提下，合上电源。你应该可以发现，当你轻按触动开关时，计数器将使数码管上显示的数字从 0 开始往上变化，当变化到 9 后又会从 0 开始重来。你也许还会发现，这个芯片有时会误解你按下按钮的动作，把按下一次当成两次甚至三次。我将在稍后来处理这个问题。

数码管中 LED 发出的光线不会太亮，因为所串联的 1 kΩ 电阻器限制了它们能够接收到的功率。这些电阻器对于防止计数器的输出过载是必不可少的。

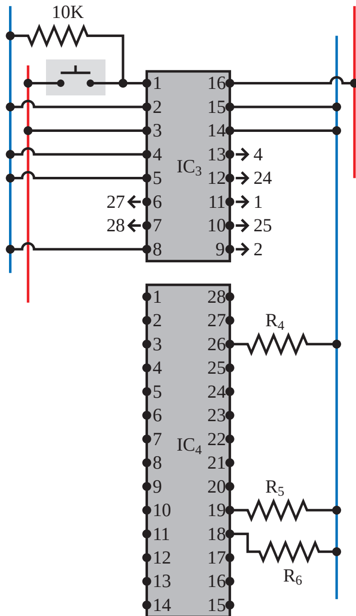


图 4-35 IC_3 为 4026 计数器，IC_4 为三数字的七段数码管芯片。图中的箭头告诉你 LED 数码管上的哪一个引脚应该连接到计数器的该引脚上

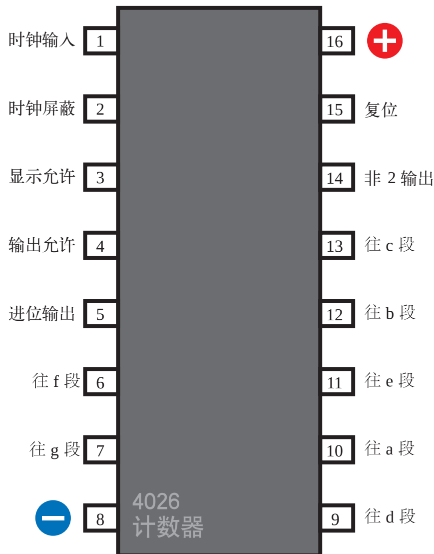


图 4-36 4026 十进制计数器是一个 CMOS 芯片，它通过引脚 1 接收时钟脉冲，对脉冲数目做从 0 ～ 9 的累加，并通过专门与七段 LED 数码管进行，接口的引脚将累加结果输出

基础知识

计数器和七段数码管

大多数的计数器接受脉冲流，并将它们依次分配给一系列的引脚。4026 十进制计数器比较特别，它以一种特别的模式往输出引脚输出功率，正好可以点亮七段数码管的 LED 段。

有些计数器产生正的输出（它们是放出电流的“源”），另外一些则产生负的输出（它们是吸收电流的“宿”）。有些数码管要求正的输入来点亮数字，这就是所谓的“共阴极”数码管。其他的要求负的输入，即所谓的“共阳极”数码管。4026 供应正的输出，因此要求共阴极的数码管。

不管是何种计数器，都请查阅其参数说明书，看它需要多大的功率，能够发出多大的功率。CMOS 芯片一天天地过时了，但对于业余爱好者来说，它们却十分有用，因为它们能够经受大范围的电压——对于 4026 来讲，电压的范围是从 5 V 到 15 V。其他类型的芯片的工作电压范围则要窄得多。

大多数的计数器只能发出或吸收几毫安的输出电流。当 4026 由 9 V 的电源供电时，它的每个引脚大约可以发出 4 mA 的电流。这勉强可以驱动七段数码管的一个 LED 段。

可以在计数器的每个输出引脚与相应的数码管输入引脚之间串联一个电阻器，但更为简单、快捷的方法是每个数码管只用一个电阻器，将其串联在数码管的电源负端引脚和地之间即可。下面我要介绍的实验使用的就是后面这种简单方法。它的一个缺点是，像 1 这样只用到少数几个段的数字将比像 8 这样用到许多个段的数字明亮。

如果你希望自己的数码管看起来明亮而专业，那么你就需要给每个数码管的每个段添加一个晶体管来驱动。另一个选择是使用包含有多个运放的芯片来放大电流。

当一个十进制计数器计数到 9 再回到 0 时，它会往其“进位”引脚输出一个脉冲。这个脉冲可以用来驱动另一个计数器，以记录 10 的数目。而第二个计数器上的进位引脚又可以连接到第三个计数器，以记录 100 的数目，以此类推。除了十进制计数器外，还有十六进制计数器（它按 16 的倍数来计数）、八进制计数器（按 8 的倍数来计数），等等。

为什么需要十进制以外的其他计数方法呢？考虑一下数字钟上面的四个数字各有不同的计数方法就明白了。最右边的数字在达到 10 时就恢复到 0，其左边的下一位数字则按 6 的倍数来计数。当小时的第一位数字计数到 10 时，就会发出进位信号，当它再次计数到 2 时，又会发出另一个进位信号。当时间按 12 小时格式计时，小时的最左边一位要么是空，要么是 1。很自然地，有一些专门设计的计数器来完成这种工作。

> 计数器有一些控制引脚，例如“时钟屏蔽”，它就是用来告诉计数器，让其忽略输入脉冲并使数码管的显示固定起来，“显示使能”则用来使芯片可以输出，“复位”则用来使计数器恢复到 0。
>
> 4026 芯片要求正的输入来激活其各个控制引脚的功能。当引脚接地时，它们的功能就不起作用。
>
> 为了使 4026 计数并显示其计数结果，必须将“时钟屏蔽”和“复位”引脚接地（以使这些功能不起作用），并给“显示使能”引脚加上正电压（以激活输出）。具体请参考图 4-36 中对各个引脚功能的标注。

假定你完成了用一个计数器来驱动一位数字的任务，接下来你准备增加两个计数器，用来控制剩下的两位数字。第一个计数器对 1 的倍数进行计数，第二个对 10 的倍数进行计数，第三个则对 100 的倍数进行计数。

在图 4-37 中，我继续使用箭头和数字来告诉你计数器的引脚应该连接到数码管的哪一个引脚。否则的话，电路原理图将因为连接导线彼此交叉而变得混乱不堪。

此时此刻，你完全有可能因为需要进行大量的连线而沮丧地放弃目前的实验项目——事实上，在面包板上搭建电路的话，用不了半个小时你就能够完成目前阶段的项目。我建议你一定要试一下，因为看到数码管“全自动地”从 000 往 999 显示计数，是一件很神奇的事情，而我之所以选择这个项目，还因为它具有很大的指导价值。

S_1 接在 IC_1 的“时钟屏蔽”引脚上，以便在你按下这个按钮开关时，使计数器停止计数。由于 IC_1 控制 IC_2，IC_2 控制 IC_3，如果你让 IC_1 停止计数，其他两个芯片就必须等待 IC_1 恢复计数。因此你就没有必要再使用其他两个芯片的“时钟屏蔽”功能。

S_2 连接到所有 3 个计数器的“复位”引脚上，以便在你按下这个按钮时，将所有 3 个计数器置零。

S_3 往第一个计数器的“时钟输入”引脚手动地发送正脉冲。

在 S_1、S_2、S_3 所连的引脚上，都有一个 1 kΩ 的电阻器连接到电源的负端。这样做的目的在于，当按钮没有按下时，“下拉”电阻器将保持引脚接近于地的电压（零电压）。而当你按压其中的某个按钮时，这

将直接把芯片的引脚连接到正电压，轻而易举地使负电压失去作用。通过这种方式，引脚要么处于确定的正电平状态，要么处于确定的负电平状态。如果你断开其中的某个下拉电阻器，就可能会看到数码管的显示发生不规律的“乱跳”（数码管芯片的有些引脚没有连接，这不会引起任何问题，因为它不过是由一组 LED 段构成的无源芯片而已）。

> CMOS芯片的输入引脚永远需要连接，以使其要么为正电位，要么为负电位。请参考“引脚不要浮位”的警告。

我建议你先连好在电路原理图中显示的所有连线。然后再剪一些 22 号线规的导线，来完成其余的（没有画出来的那些）由 IC_1、IC_2 和 IC_3 的引脚插孔到 IC_4 的引脚插孔之间的连接。

合上电源开关并按下 S_2，你将看到数码管上显示 3 个 0。

你每按下一次 S_3，计数就将增加 1。如果你按下 S_2，计数将复位到 0。如果你保持 S_1 为按下的状态，同时反复地按 S_3，那么计数器将固定不动，它将忽略来自 S_3 的脉冲。

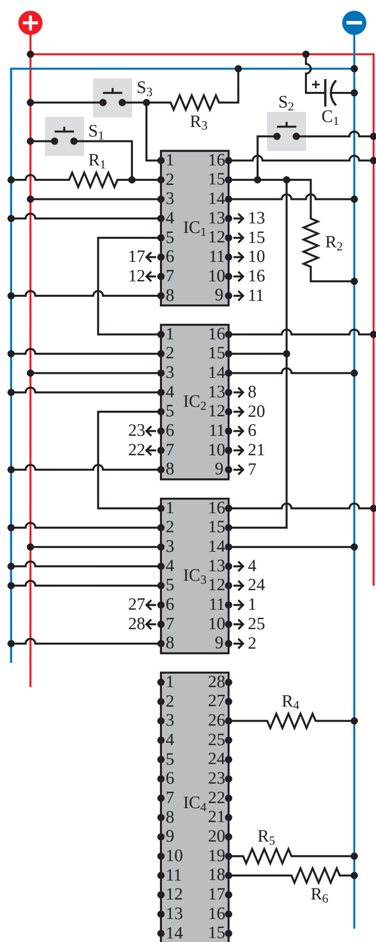


图 4-37 这个测试电路的布局跟在面包板上搭建电路的布局相似，它让你可以手动地触发计数器，来验证数码管的显示从 000 开始往上增加到 999。具体的元件参数如下。所有电阻器的阻值为 1 kΩ。

S_1、S_2、S_3：单刀单掷触动开关，常开型

IC_1、IC_2、IC_3：4026 十进制计数器芯片

IC_4：今台牌的 3 位共阴极数码管

C_1：100 μF（至少）的平滑电容器

请根据箭头前方的数字，将 IC_1、IC_2、IC_3 上的引脚连接到 IC_4 上的引脚。为了清楚起见，图中忽略了实际的连线。请参考 IC_4 的引脚功能

基础知识

开关弹跳

当你按压 S_3 时，我想你有时可能会遇到计数增加不止 1 的情况。这并不意味着你的电路或元件有什么问题，而是你观测到了一种称作“开关弹跳”的现象。

从微观的层面来看，按钮开关内部触点的闭合过程是不平滑、不稳固、不果断的。在达到稳定之前，它们会振动若干微秒，计数器芯片检测到这些振动，并将其当成一系列的脉冲而不是一个脉冲。

有各种各样的电路用于开关的“防弹跳”。最简单的方法是在开关上并联一个小电容，以吸收脉冲的起伏，但这种方法不是很理想。稍后，我将回过头来讨论防弹跳的问题。在目前的电路中，开关弹跳不是我们需要关心的问题，因为我们将去掉 S_3，而用一个 555 定时器来代替它，以产生出相当分明、无弹跳的脉冲。

脉冲产生

555 定时器是驱动计数器芯片的理想选择。你已经知道如何连接 555，以使其产生一串脉冲，通过扬声器来发出噪音。我使用当前实验项目中的正负供电电源配置，重建了跟以前同样的 555 电路的简化形式，如图 4-38 所示。此外，我也以你最可能采用的方式，即通过芯片的上方空间走线，在引脚 2 和引脚 6 之间绘出了一个连接。

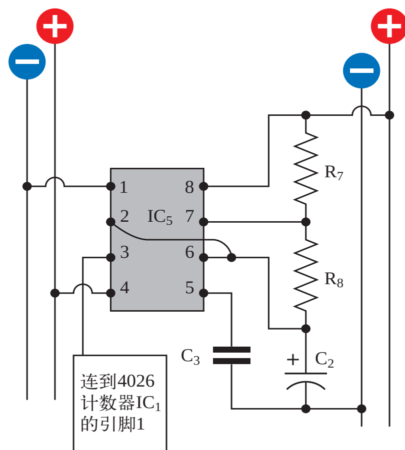


图 4-38 一个基本的不稳电路，用于驱动前一个电路原理图中的十进制计数器。其输出大约是每秒 4 个脉冲。有关元件参数如下。

R_7：1 kΩ　　C_3：0.1 μF

R_8：2 k 2　　IC_5：555 定时器

C_2：68 μF

对于目前的实验来讲，我建议的初始元件参数值每秒仅产生 4 个脉冲。再快一点的话，你就无法验证你的计数器是否能够恰当地计数。

在紧邻 IC_1 的上部，安装 IC_5

以及相关的元件。不要在芯片之间留任何的空位。断开 S_3 和 R_3 的连接，在 IC_5 的引脚 3（输出）与最上部的计数器 IC_1 的引脚 1（时钟）之间直接连一条导线。再次上电，你应该可以看到数码管上的数字以平滑、正常的方式快速地增加。按下 S_1 并保持按下的状态，计数将保持不动。释放 S_1，又将恢复计数。按下 S_2，计数器应该复位，即使你同时按下 S_1 也将复位。



不能有浮位的引脚

CMOS芯片是高敏感性的器件。任何引脚如果没有连接到供电电源或者地，就被称作是“浮位”的，它可能会起到天线一样的作用，对它周围世界中的微小波动很敏感。

4026计数器芯片有一个引脚称作“时钟屏蔽”。制造商的参数说明书给你提供的一个很有用的信息是，如果给这个引脚加上正电压，芯片就会停止计数，显示也会固定下来。由于你并不希望这样，因此很可能会忽略这个引脚而让其保持未连接的状态（至少在测试这个芯片的时候你可能会这样做）。这很不好！

参数说明书中没有告诉你的是（也许是考虑到“人人都知道”的缘故吧），如果你想要4026芯片的时钟运转正常，时钟屏蔽引脚本身必须被屏蔽，即必须将其连接到负电压（地）。如果你听任其浮位（并且从我本人的经验来看），这个芯片将变得行为异常而没什么用处。

所有的输入引脚必须要么接正要么接负，除非有其他的特别说明。

更上一层楼

现在是时候回想一下这个电路的目的了，它是用来测试人的反应能力的！当使用者启动它之后，我们需要一个起始的延迟，后面紧跟一个信号——可以是一个 LED 被点亮。使用者通过尽可能快地按下一个开关来对信号做出响应。在使用者做出响应期间，计数器将对所经过的时间以毫秒数进行计数。当使用者按下按钮时，计数器停止计数，数码管

的显示将无限期地保持不变，显示出使用者做出反应之前已经计数的脉冲个数。

如何处理它呢？我认为我们需要一个触发器。当触发器得到一个信号时，它就启动计数器计数，并让其一直计数下去。当触发器得到另一个信号时（来自使用者按下按钮的信号），它阻止计数器计数，并让其保持停止状态。

我们怎样才能搭建出这个触发器呢？不管你信不信，我们可以用另一个 555 定时器来做到这一点，只不过我们需要让它工作于一个新的模式——双稳态。

基础知识

双稳态的555定时器

图 4-39 给出了 555 定时器的内部布局，这跟以前介绍过的情况一样，只不过把以前那些右手侧的外部元件去掉了而已。取而代之的是，我在引脚 6 上施加了一个恒定的负电压。你能够想到其结果吗？假设你在触发引脚 2 上施加一个负脉冲。在正常情况下，这样做，555 定时器将开始运行，它会产生一个正的输出并同时给引脚 6 上所接的电容充电。当该电容电压达到供电总电压的 2/3 时，就会告诉 555 定时器停止其正电压输出，翻转到原来的负电压。

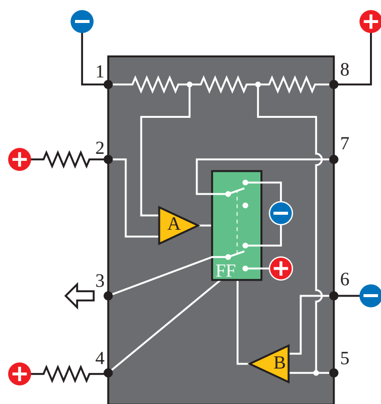


图 4-39 在双稳态配置中，555 定时器的引脚 6 永远为负电位，以使定时器的周期永不结束，除非你在引脚 4（复位引脚）上施加一个负脉冲来强迫其结束

然而，没有电容时，就不会有什么东西来使定时器停止。它的正输出将无限地输出下去。不过，引脚 4（复位引脚）仍然可以屏蔽一切，因此如果你给引脚 4 施加负电压，它就会让输出翻转为负。在这之后，输出又将一直保持为负，就跟正常一样，除非你让引脚 2 上的电压下降而再次触发定时器（这将使定时器翻转回到输出为

正的状态）。

以下是双稳态配置的一个快速总结。

- 在引脚 2 上施加一个负脉冲将使输出翻转为正。
- 在引脚 4 上施加一个负脉冲将使输出翻转为负。
- 定时器在这两种状态下都是稳定的。它的每个状态的运行时间都是无限长的。

让定时器的引脚 5 和引脚 7 保持未连接状态是不会引起问题的，因为我们将定时器推到了极限的状态，在这种极限状态下，来自这两个引脚的任何随机信号都将被忽略。

在双稳态中，555 定时器转变成了一个很大的触发器。为了避免任何的不确定性，我们使用上拉电阻器将引脚 2 和引脚 4 保持在正常的正电位，而当我们希望使 555 翻转到其相反的状态时，在这些引脚上施加负脉冲可以覆盖这些上拉电阻的作用。用两个按钮来控制 555 定时器、使其运行于双稳态模式的电路原理图如图 4-40 所示。你可以将这个电路添加在你的现有电路的上方。由于现在要将 IC_6 的输出连接到最上面那个计数器 IC_1 的引脚 2 上，因此可以将引脚 2 上的 S_1 和 R_1 断开。具体见图 4-41。

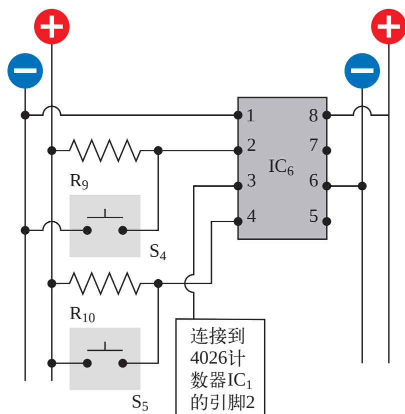


图 4-40　在反应测试器上添加一个双稳态的 555 定时器，就可以通过触动一个按钮来停止计数器的计数，并保持其在停止状态。相应的元件参数如下。

R_9，R_{10}：1 kΩ

IC_6：555 定时器

现在再次给电路加电。你应该可以看到电路跟以前一样地计数，不过当你按下 S_4 时，电路就会停顿下来。这是因为双稳态的 555 定时器将其正输出发送给了计数器的“时钟屏蔽”引脚。计数器仍然在不断地从非稳态的 555 定时器那里收到脉冲流，但是只要计数器的引脚 2 上的电位为正，计数器就会简单地忽略这些脉冲。

现在按下 S_5，这将使双稳态的 555 定时器翻转回输出负电位的状

态，从此开始又恢复计数。

我们已经越来越接近最终能够工作的电路。我们可以使计数复位到零（用 S_3），可以启动计数（用 S_5），也可以等待使用者停止计数（用 S_4）。唯一缺少的就是一个出其不意启动计数的方法。

延迟

假设我们再添加一个 555 定时器，并让其工作于单稳态。用一个负脉冲来触发其引脚 2，使其发出持续时间为 4 s 的正输出。当持续时间结束以后，输出又返回到负。也许我们可以把这个从正到负的转换引到 IC_6 的引脚 4 上。这可以用来代替开关 S_5，以前我们是通过按压 S_5 来启动计数的。

请看图 4-41 中新的电路原理图，其中增加了另一个 555 定时器，即 IC_6 上方的 IC_7。当 IC_7 的输出从正变到负时，它将触发 IC_6 导致其复位，使其输出变负，从而启动计数。所以 IC_7 取代了启动开关 S_4 的地位。你可以去掉 S_4，但要保留上拉电阻 R_9，以使 IC_6 的复位信号在剩余的时间里仍保持为正电平。

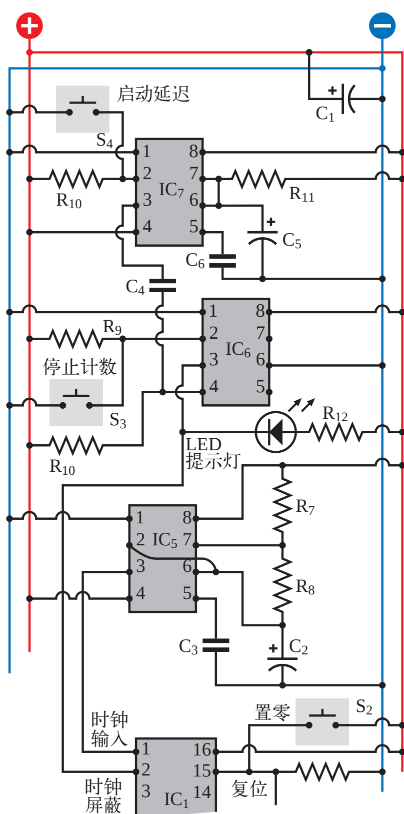


图 4-41　电路中与定时器相关的整个控制部分。其中各元件的参数如下。

R_7，R_9，R_{10}，R_{12}：1 kΩ

R_8：2k2

R_{11}：330 kΩ

C_1：100 μF

C_2：68 μF

C_3，C_4，C_6：0.1 μF

C_5：10 μF

S_1，S_2，S_3：触动开关

IC_5，IC_6，IC_7：555 定时器

这个配置之所以能够工作，是因为我用电容器 C_4 连接 IC_7 的输出引脚与 IC_6 的复位引脚。这个电容器对从正到负的电压突变起着沟通的作用，而在突变以外的其余时间里，它则会阻挡来自 IC_7 的稳态电压，因此不会干扰 IC_6。

在图 4-41 所示的最终的电路原理图中，3 个 555 定时器是连接在一起的，你应该将它们插在最上一个计数器 IC_1 的上方。我还增加了一个 LED 用以提醒使用者。图 4-42 是我按照这个电路原理图搭建出来的电路的照片。

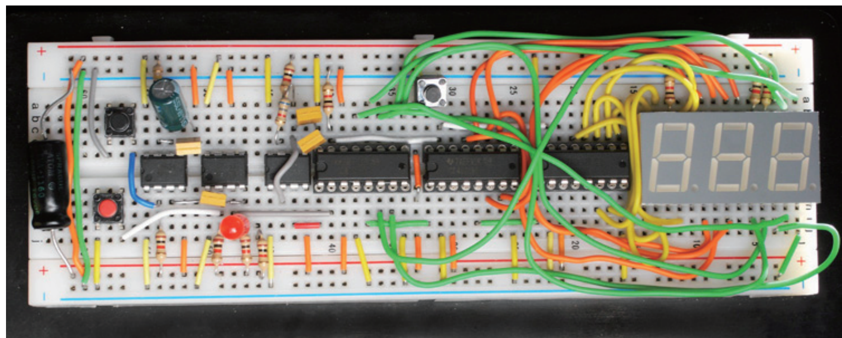


图 4-42　完整的反应计时器电路刚好可以安装在一个 63 行的面包板上

由于这个电路比较复杂，我将总结一下其工作时各事件发生的顺序。当你顺着这些步骤阅读的时候，请同时参考图 4-41。

(1) 使用者按下启动延迟按钮 S_4，这将触发 IC_7。

(2) IC_7 的输出变高若干秒，同时 C_5 充电。

(3) IC_7 的输出降回到低电平。

(4) IC_7 通过 C_4 将一个低电压脉冲传递给 IC_6 的引脚 4。

(5) IC_6 的输出翻转到低电平，并停留在低电平。

(6) IC_6 的低电平输出通过 LED 吸收电流，并点亮 LED。

(7) IC_6 的低电平输出也传递到 IC_1 的引脚 2。

(8) IC_1 的引脚 2 上的低电平使得 IC_1 开始计数。

(9) 使用者按下“停止”按钮 S_3。

(10) S_3 将 IC_6 的引脚 2 接地。

(11) IC_6 的输出翻转为高电平，并保持在高电平状态。

(12) IC_6 的高电平输出关闭 LED。

(13) IC_6 的高电平输出同时也传递到 IC_1 的引脚 2。

(14) IC_1 的引脚 2 上的高电平使其停止计数。

(15) 在核实结果之后，使用者按下 S_2。

(16) S_2 将正电压施加在 IC_1、IC_2 和 IC_3 的引脚 15 上。

(17) 正电压使计数器置零。

(18) 使用者现在可以再试一次。

(19) 同时，在整个过程中，IC_5 是不停地运行的。

为了让你更容易地理解以上的整个过程，我给出了一个原理方框图，如图 4-43 所示。

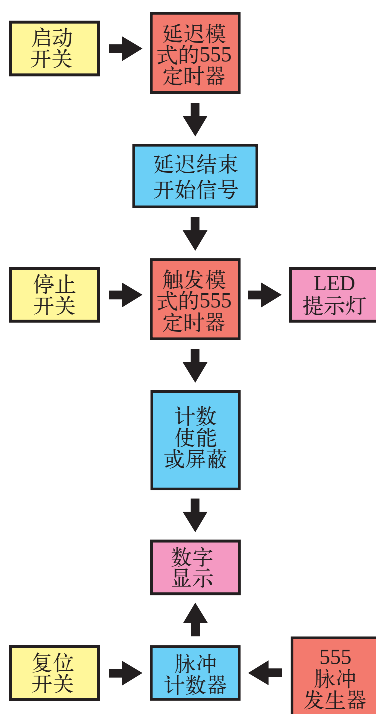


图 4-43　反应测试器的功能方框图

反射测试器的使用

现在你应该可以测试整个电路了。在你第一次给它加电的时候，它将立刻开始计数，这确实有点儿令人讨厌，不过这个问题很容易解决。可以按下 S_3 停止计数，然后按下 S_2 使计数置零即可。

现在按下 S_4。似乎什么也没有发生——但是这恰恰是该装置的用意所在。延迟环节在不动声色的状态下开始了。经过若干秒之后，延迟环节结束，LED 灯亮起。与此同时，计数开始了。使用者以尽可能快的速度按下 S_3 来停止计数。数码管上的数字停顿下来，显示出所经过的时间。

现在只剩下一个问题——系统还没有经过标定。它仍然运行在慢速模态。你需要改换连接在 IC_5 上的电阻器和电容器，以使其每秒产生脉冲的个数为 1 000 个而不是 3 ～ 4 个。

用一个 10 kΩ 的微调电位器来代替 R_8，用一个 1 μF 的电容器来代替 C_2。当微调电位器处于最大电阻值时，这个组合每秒大约产生 690 个脉冲。当你往下调小微调电位器的电阻值时，大约在其刻度的中途某个位置上，定时器每秒将产生出 1 000 个脉冲。

你如何才能知道这个点精确的位置呢？在最理想的情况下，你应该用示波器来测量 IC_5 的输出。但最有可能的情况是，你没有示波器，因此这里给出其他几点建议。

首先去掉 C_2 位置处的 1 μF 的电容器，代之以一个 10 μF 的电容器。由于你将电容值乘了 10，因此速度将降低 10 倍。现在数码管的最左位应该按秒来计数，每过 10 s 就将达到 9 并回落到 0。你可以用跑表来测量显示的时间，并同时调节微调电位器的阻值。在调好之后，就可以移去 C_2 处的 10 μF 的电容器，而使用原来 1 μF 的电容器。

这个办法的唯一问题是，电容器的容值误差可高达 10%。如果你想精确地调整你的反应定时器，那么可以照以下办法行事。

断开 IC_3 引脚 5 上的连线，代之以一个串联有 1 kΩ 电阻器的 LED，接在引脚 5 和地之间。引脚 5 为“进位”引脚，在 IC_3 往上计数到 9 并回落到 0 重新开始计数时，它将发出一个正脉冲。由于 IC_3 按几十分之一秒进行计数，因此它的进位引脚应该每秒输出一个进位脉冲。

现在让电路运行整整一分钟，用跑表来判断 LED 的闪烁是逐渐快于还是慢于每秒一次。如果你的便携式摄像机的取景框带时间显示，就可以用其来观测 LED。

如果 LED 的闪烁太短暂不容易看到的话，那么你可以从引脚 5 引出一根导线，连接到另外一个设定于单稳模态的 555 定时器上，以产生一个持续时间大约为 0.1 s 的输出，然后用这个定时器的输出来驱动一个 LED。

功能增强

毫无疑问，任何时候当你完成一个电路项目时，你都可以找出一些可以改进的地方。以下是一些改进建议。

(1) 加电时不要计数。如果电路能够从“准备”状态开始，而不是从计数状态开始，那将是一件很好的事情。为了达到这个目标，你需要往 IC_6 的引脚 2 发送一个负脉冲，可能还得往 IC_1 的引脚 15 发送一个正脉冲。也许多加一个 555 定时器就可以做到这一点。我把这个实验留给你去完成。

(2) 当按下开始按钮时，有声音反馈。在目前的电路中，在开始按钮上发生的任何事情都没有一个可供确认的信号。为此，你只需购买一个压电蜂鸣器，将它连接在开始按钮的右手侧与电源的正端之间即可。

(3) 在计数开始之前，加入一段随机的延时。使电子器件表现出随机行为是十分困难的，不过有一个办法可以完成这个任务，就是让使用者把手指放在一对金属触点上，即用手指的皮肤电阻来代替 R_{11}。因为

手指的压力不会每次都完全一样，延迟也就将不同。采用这个方法的话，你就不得不调整 C_5 的数值。

总结

这个实验项目展示了如何控制计数器芯片、如何将计数器芯片连接在一起，以及 555 定时器的 3 种不同功能。它也向你展示了芯片如何彼此通信，还给你介绍了在搭建好电路之后，如何对电路进行定标。

很自然的是，如果你想对这个电路加以实际应用的话，你就应该将其封装在一个项目盒里，并且要使用更加耐用的按钮——尤其是那个停止计数的按钮。你会发现，当一个人进行反应能力测试时，他们会用很大的力气去按停止按钮。

由于这个实验项目比较大，花去了你不少的时间和精力，因此在接下来我们往另一种类型的集成电路——逻辑芯片的迷人世界里前进的时候，我先安排了一些比较容易、能够较快完成的项目，来减轻一下压力。

实验 19 学习逻辑

以下为所需用到的东西。

- ❒ 电阻器和电容器套装包。
- ❒ 74HC00 4 枚封装的两输入与非门芯片，74HC08 4 枚封装的两输入与门芯片，以及 LM7805 调压器，数量：各 1 个。
- ❒ 信号二极管，型号为 1N4148 或类似的，数量：1 个。
- ❒ 低电流 LED，数量：1 个。
- ❒ 单刀单掷触动开关，数量：2 个。

你马上就将进入到纯数字电子学的王国里，开始使用那些在每一个电子计算设备中都是基本的器件——逻辑门。当你单个地使用它们时，它们特别容易理解。而当你将它们连接在一起的时候，它们有可能表现得特别复杂。因此让我们先一个一个地学。

比起我们前面用过的 555 定时器和 4026 计数器来，逻辑门对使用条件是相当挑剔的。它们要求相当精确的 5 V 直流电压，不能有波动或“尖峰”存在。幸运的是，这个要求很容易满足，只需要像图 4-44 的电路原理图以及图 4-45 的照片中的那样，用一个 LM7805 调压器在面包板上搭建一个电路即可。该调压器从你常用的电源接收 9 V 的直流，在

一对耦合电容器的帮助下，将 9 V 降低为 5 V。你将 9 V 加在调压器上，然后将 5 V 配送到面包板的两侧以取代以前未经调压的电压。用万用表来验证这个电压，并且要确保极性标记清楚。

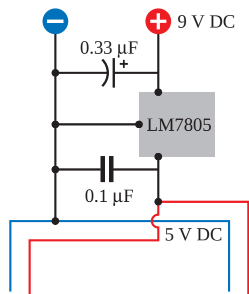


图 4-44　这个简单电路十分重要，它用于给逻辑芯片提供稳定的 5 V 直流电源

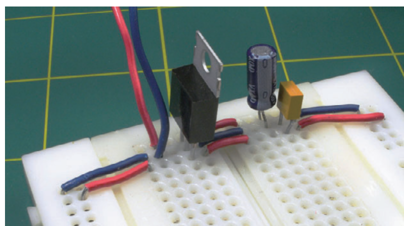


图 4-45　调压器和它的两个电容器可以紧挨着放在面包板的最上边。请记住将 9 V 的输入电压加在调压器的左侧引脚上，将 5 V 的输出配送到面包板两侧

在安装好调压器后，取一对触动开关、两个 10 kΩ 电阻器、一个低电流 LED，以及一个 1 kΩ 的电阻器，如图 4-46 那样将它们安装在一个 74HC00 逻辑芯片的周围。你也许注意到了，该芯片的许多引脚是短接在一起并连接到电源的负端的。等一会儿我将解释其原因。

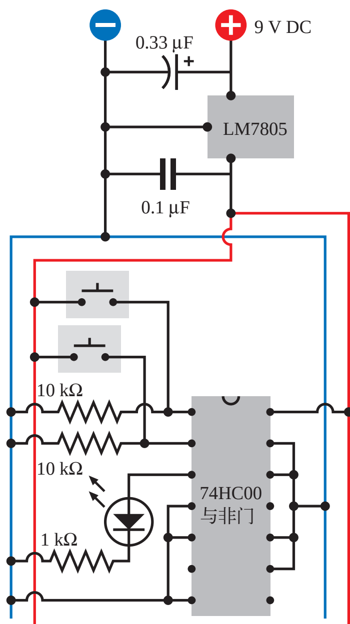


图 4-46　通过观察按下一个按钮、按下两个按钮以及没有按下任何按钮时 LED 发光与否，你可以很容易地弄清楚与非门的逻辑功能

当你接通电源时，LED 应该亮起。当你按下某一个触动开关时，LED 应该保持发光。按下另外一个触动按钮时，LED 也应该保持发光。然后同时按下这两个按钮，这次 LED 应该熄灭了。

引脚 1 和引脚 2 是 74HC00 芯片的逻辑输入。由于它们都通过一个 10 kΩ 的电阻器连接到电源的负端，因此在刚开始的时候它们都处于负电压。但是每个按钮都可以克服下拉电阻器的作用，迫使相应的输入引脚为正电压。

基础知识

调压器

这种小半导体的最简单版本是这样的，它们的一个引脚接收较高的直流电压，另一个引脚输出一个较低的直流电压，而第三个引脚（通常在中间）则作为共同的负端或地。此外你还需要接一对电容器来平滑电压，如图 4-46 所示。

对于 5 V 的调压器，其“输入侧”的典型输入是 7.5 V 或 9 V 的电源，从“输出侧”可以得到一个精确的 5 V 电压。如果你想知道其余的电压哪里去了，其答案是调压器将这个部分电压转变成了热量。由于这个原因，小的调压器（例如图 4-8 中的那个）的背部往往是一片顶部有孔的金属板，其目的是用来散发热量。如果在其上拴一片铝块，将会更加有效，因为铝能够十分有效地传递热量。铝在这里称作散热片，你可以买到各种奇特样式的具有多个散热鳍的散热片。

对于我们的目的来讲，我们需要的电流不是太大，因此不需要散热器。

正如你所看到的，该逻辑芯片的输出是常正的——但是当第一个输入和第二个输入都为正的时候，输出却不是正的。由于这个芯片所做的是“与非”运算，因而被称作与非逻辑门。你可以看看图 4-47 的实验

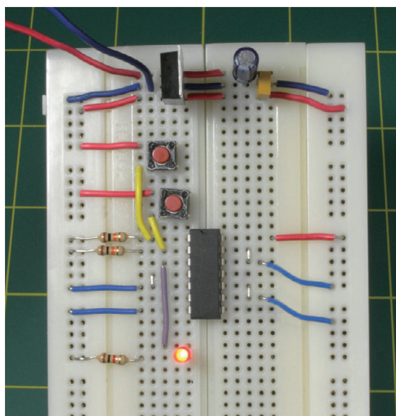


图 4-47 这个面包板的布局跟图 4-46 的电路原理图是完全等效的

电路的面包板布局。图 4-48 是该电路的一个简化版本。在该图中，底部有个圆圈的 U 形东西是代表与非门的逻辑符号。图中没有绘出芯片的供电电源，实际上所有的逻辑芯片都需要一个供电，这可以使它们输出的电流比它们吸收的电流大。任何时候当你看到一个逻辑芯片的符号时，请记住它们都需要一个电源才能工作。

74HC00 实际上包含 4 个与非门，每个门有两个逻辑输入和一个逻辑输出。它们的排列如图 4-49 所示。对于我们的最简单测试来讲，由于只需要用到一个门，因此未使用的门的输出都被短接在供电电源的负端。

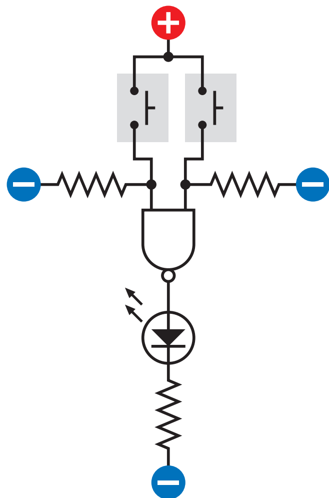


图 4-48 这是与非门的一个简化的电路原理图，图中忽略了芯片的供电电源，其中的连线也没有刻意去模仿面包板上的布局，因而它更易于说明与非门的结构与功能

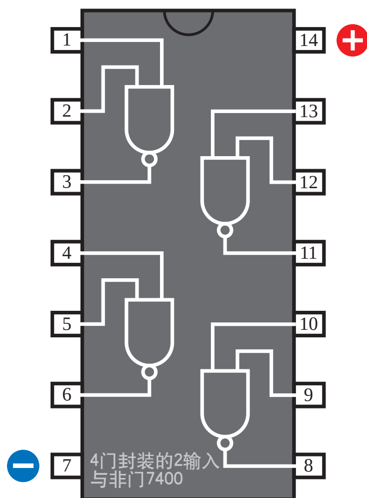


图 4-49 74HC00 芯片中逻辑门的引脚功能

引脚 14 为该芯片提供正电源，引脚 7 为芯片的接地引脚。几乎整个 7400 家族的逻辑芯片都使用这两个引脚来连接正、负电源，因此可以很容易地对它们进行互换。

现在就让我们来互换芯片吧。首先，断开电源。小心地拔出 74HC00，将其引脚插在导电性塑料泡沫中，然后再放在一边。换上 74HC08 芯片，这是一个与门芯片。请确保插放的方向正确，即其刻痕标记应该在上部。重新接通电源，并跟以前一样试用按钮。这一次你将

看到，当第一个输入“与”第二个输入都为正电压时，LED 才变亮，而在其他情况下它都保持熄灭状态。因此，与门芯片的功能跟与非门芯片正好相反。其引脚功能如图 4-50 所示。

你也许会问，为什么这种东西会有用呢？很快你就会看到，我们可以将逻辑门放在一块，做出电子组合锁，或成对的电子骰子，以及电视竞答赛的计算机版本。如果你特别有雄心，甚至可以用逻辑门做出一台完整的计算机来。

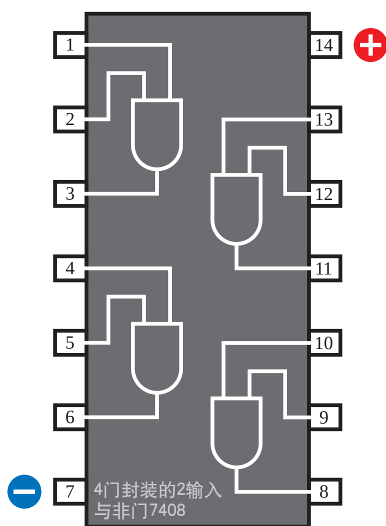


图 4-50　74HC08 芯片中逻辑门的引脚功能

背景知识

从布尔到香农

乔治·布尔（George Boole）是英国的一位数学家，生于 1815 年，他做了一件只有他这样幸运和精明的人才能做出来的事情：创立了一个全新的数学分支。

有趣的是，这个数学分支不是以数字为基础的。布尔具有超强的逻辑思维，他想将这个世界简化为一系列或真或假的陈述，并且这些陈述可以以有趣的方式相重叠。例如，假定有一对名叫安和鲍伯的夫妇，他们很穷，穷得只有一顶帽子。显然，当你偶然碰到安和鲍伯走在街上时，将有 4 种可能：他们谁都没戴帽子、安戴了帽子、鲍伯戴了帽子，而他们不可能同时戴着帽子。

图 4-51 说明了以上的概念。图中除两圆重叠的部分外，其他状态都是可能的，这个图称作韦恩图。如果你对它感兴趣，并想了解更多的话，请你去搜索一下这个术语。布尔更进一步利用这个概念说明了如何建立复杂的逻辑集合，如何对复杂的逻辑集合做极大的简化。

概括戴帽子这种情况的另一个方法是制作图 4-52 所示的“真值”表。该表最右边的列用来说明一个命题组合是否为真。现在请

查看图 4-53 中的表。它跟图 4-52 是同一个表，只是标记不同而已，它使用与非门来描述你在上面所看到的图案。

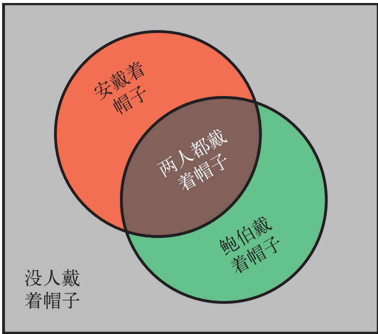


图 4-51　这是一个十分简单的韦恩图，用来说明安和鲍伯这对仅有一顶帽子的穷夫妻的各种可能

布尔早在 1845 年就出版了他关于逻辑的专著，而其在电气电子器件中的应用则是很久以后的事情。事实上，在他整个一生中，他的工作根本就没有得到实际的应用。直到 20 世纪 30 年代，有个叫做香农（Claude Shannon）的人在麻省理工学院读书的时候遇到了布尔逻辑，并在 1938 年发表了一篇论文，描述了如何将布尔分析应用到使用继电器的电路中。由于当时电话网络正在迅猛发展，产生了复杂的开关问题，因此香农的工作立即有了实际应用。

安戴着帽子	鲍伯戴着帽子	组合结果为
没有	没有	真
没有	是	真
是	没有	真
是	是	假

图 4-52　戴帽的可能性可以用“真值表”来描述

输入A	输入B	输出
断	断	通
断	通	通
通	断	通
通	通	断

图 4-53　可以对真值表的形式进行重新标识，以描述一个与非门的输入和输出的关系

有一个十分简单的电话网络问题可以描述如下。假定有乡村地区的两个客户共用同一条电话线。如果其中一个客户想要使用这条线，或者另一个客户想要使用这条线，或者两个客户都不使用这条线，这都不会有什么问题。但是他们不能同时使用这条线。你也许注意到了，这跟安和鲍伯的戴帽问题是完全相同的。而安和鲍伯是无法突破布尔逻辑的限制的，参见图 4-55。

我们可以使用两个常闭继电器来轻易地建立一个电路，以产生出以上所需的结果（见图 4-54），但是如果我们要为成千上万的客户提供电话交换服务，那情况就变得十分复杂了。实际上，在香农的时代，尚没有什么逻辑处理方法可以发现最佳的解答并验证一个解答所用的元件要比其他解答用得少。

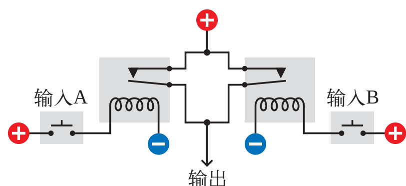


图 4-54 这个继电器电路可以说明当两个电话用户想要共享同一条电话线路时所需的逻辑，其行为跟图 4-48 所示的与非门电路原理图的行为几乎完全相同



图 4-55 安和鲍伯试图突破布尔逻辑的限制

香农发现布尔分析可以用于这个目的。此外，如果你用“通”状态来代表数字 1，而用“断”状态来代表数字 0，那么你就可以建立一个能够计数的继电器系统。而如果它能够计数，那它就可以进行代数运算。

当人们用真空管代替继电器的时候，就建成了第一台实用的数字计算机。随着晶体管取代真空管，集成电路芯片再取代晶体管，最后终于迎来了笔记本电脑的时代，而笔记本电脑正是大家想当然的计算机的样子。然而深入到这些无比复杂的设备的最底层，可以发现它们仍然在使用由布尔发现的逻辑法则。如今，当你在线使用搜索引擎时，如果你使用 AND 和 OR 来细化你的搜索时，你实际上就在使用布尔运算。

基础要件

逻辑门基础

与非门是数字计算机最基本的构件，因为它使得数字加法成为可能（由于篇幅的原因，在此不做进一步的解释）。如果你想了解更多，请在网上搜索“二进制代数”、“半加器”一类的主题词。

通常有 7 种类型的逻辑门。

- ❒ AND（与门）
- ❒ NAND（与非门）
- ❒ OR（或门）
- ❒ NOR（或非门）
- ❒ XOR（异或门）
- ❒ XNOR（异或非门）
- ❒ NOT（非门）

在其中的 6 个两输入的门中，异或非门极少使用。非门具有单个输入，它简单地将正的输入变成负的输出，将负的输入变成正的输出。非门更常见的称呼是“反相器”。所有 7 个门的表示符号如图 4-56 所示。

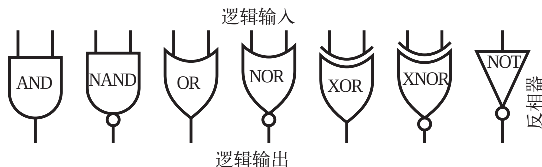


图 4-56　6 个两输入的逻辑门，以及单输入反相器的美国表示符号

我在图中采用的是传统的美国表示符号。欧洲人使用了其他一些表示符号，不过你通常碰到的一般都是这里给出的这种传统符号，甚至欧洲人也在使用它们。我还在图 4-57 中给出了真值表，以说明每种逻辑门的每对输入的逻辑输出的高或低。

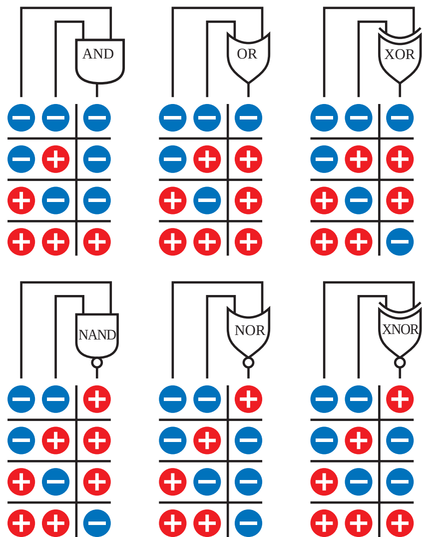


图 4-57　6 种两输入逻辑门（注意其中异或非门很少使用）的输入与输出的对应关系。减号表示低电压，接近于地的电位；加号表示高电压，接近于电路供电电源的电位。精确的电压将依实际所连的其他元件而变化

如果你觉得逻辑门难以理解，那么做一个机械上的比方也许对你有帮助。你可以将它们想象成泡泡糖售卖机上带有孔洞的滑板。有两个人 A 和 B 可以按动这些滑板。这两个人就是逻辑门的两个输入，当他们正在干某件事情时，则认为他们是正的（负逻辑的系统当然也存

在，但是不常见，因此我这里只谈论正逻辑的系统）。

泡泡糖往下流就代表正电流。可能性的全部集合如图 4-58 到图 4-63 所示。

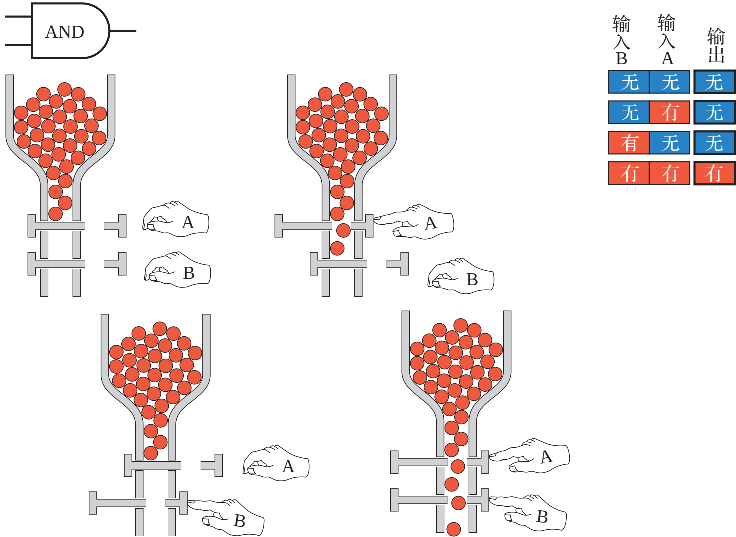


图　4-58

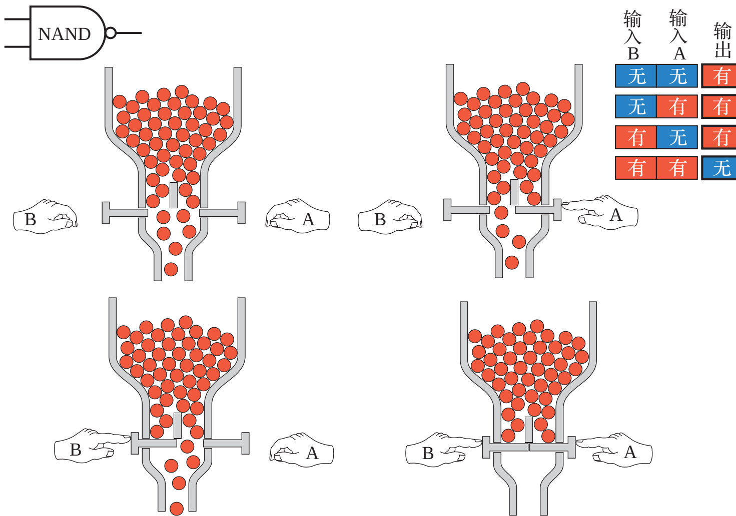
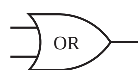
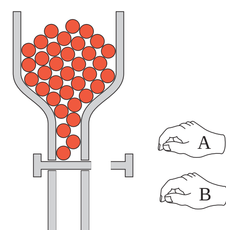
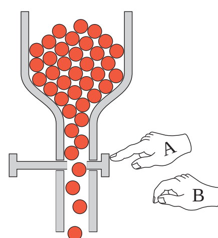


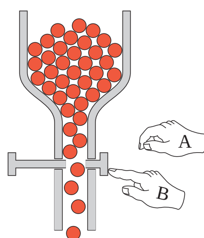
图　4-59



输入B	输入A	输出
无	无	无
无	有	有
有	无	有
有	有	有







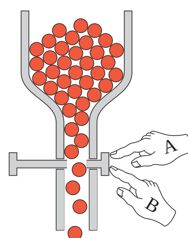
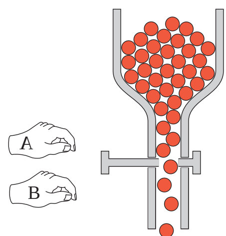
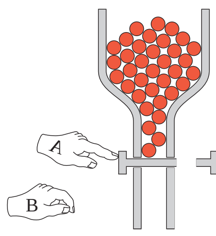


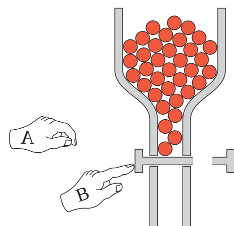
图　4-60



输入B	输入A	输出
无	无	有
无	有	无
有	无	无
有	有	无







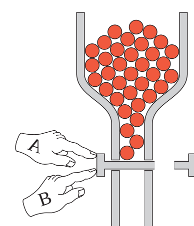


图　4-61

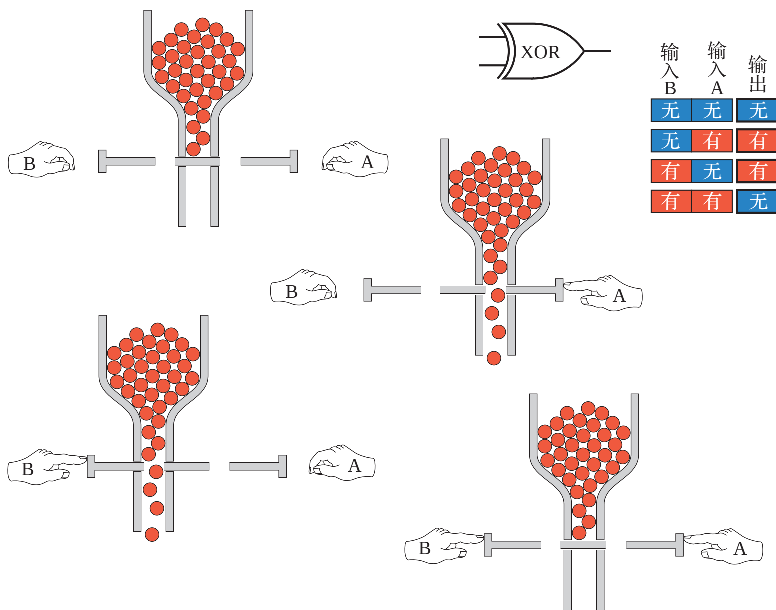

XOR
输入B
输入A
输出
无 无 无
无 有 有
有 无 有
有 有 无
B
A

图 4-62

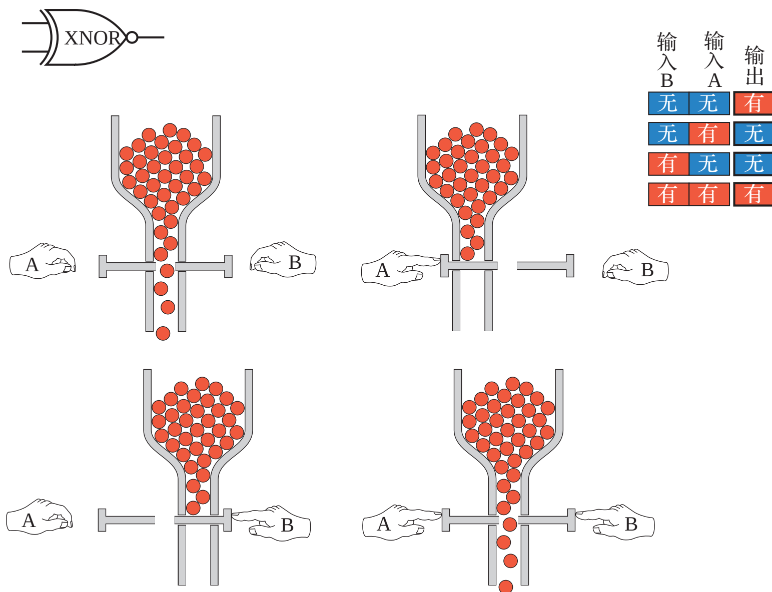

XNOR
输入B
输入A
输出
无 无 有
无 有 无
有 无 无
有 有 有
A
B

图 4-63

背景知识

TTL和CMOS的混乱世界

回到 20 世纪 60 年代，当时人们用晶体管–晶体管逻辑（Transistor-Transistor Logic，TTL）制造出了第一个逻辑门。TTL 工艺就是将微小的双极型晶体管蚀刻在单个硅晶片上。很快，又出现了互补金属氧化物半导体（Complementary Metal Oxide Semiconductor，CMOS）工艺。每一个 CMOS 芯片都是一组金属氧化物场效应晶体管（通用的名称是 MOSFET）。你在前面使用的 4026 芯片就是较老版本的 CMOS 芯片。

你也许还记得双极型晶体管可以放大电流。TTL 电路也一样：它们对电流很敏感，而对电压不敏感，因此它们需要较大的电流才能工作。而 CMOS 芯片则类似于我前面已经介绍过的可编程单结晶体管。它们是电压敏感的，这使得它们在等待信号的时候，或在发送信号后处于停顿状态的时候几乎不需要任何电流。

TTL 芯片和 CMOS 芯片这两个集成电路家族至今仍然存在。图 4-64 中的表总结了这两个家族的基本优缺点。CMOS 系列的元件从

		TTL	CMOS
元件型号系列	????	7400	4000（后来也采用7400编号）
静电易损性		小	大?
速度		较快	较慢?
功耗		较高	极低
电源电压范围		窄	宽
输入阻抗		低	极高

图 4-64 两个不同家族逻辑芯片的基本差别。随着芯片的不断更新换代，两个家族之间的这种差别已经逐渐消失

4000 开始往上编号，它们容易受到静电的破坏，不过由于它们功耗微小因而十分有价值。TTL 系列的元件从 7400 开始往上编号，它们功耗较大，但是却对静电不怎么敏感，速度特别快。因此，如果你想要搭建一台计算机的话，那你得使用 TTL 家族的芯片，而如果你是要搭建一个需要依靠小电池来工作数周的小玩意儿的话，那你就得使用 CMOS 家族的芯片。

由于 CMOS 制造商想通过模仿 TTL 芯片的优点来攫取市场份额，因而使一切都变得极端混乱。较新代的 CMOS 芯片甚至改变它们的产品型号，也从“74”开始，以强调它们的兼容性，并且调换 CMOS 芯片的引脚功能，以便匹配 TTL 芯片的引脚功能。这样一来，目前的 CMOS 芯片和 TTL 芯片的引脚功能通常就变成一样的了，但是在每个新一代中，“高速”和“低速”陈述的实际意义都会发生改变，并且 CMOS 芯片的最大供电电压是往低电压改版的。请注意一下，我在 CMOS 一列里面的两个栏目旁边加了疑问号，这是因为现代的 CMOS 芯片已经克服了那些缺点——至少在某种程度上如此。

下面快速总结一下。当你在解读一个从网上找到的电路的时候，如果你对其中指定使用的某个芯片有疑问，那么这个表就十分有用。

其中出现的字母“x”表示相应的位置可以是各种数字。因此，“74xx”包括了 7400 与非门、7402 或非门以及 74150 十六位数据选择器等。“74”前面的字母组合用来辨识芯片制造商，而跟在产品型号后面的字母则是封装的标识，也可以用来指明是否包含有对环境有毒的重金属，以及其他信息。

TTL 家族

74xx

老的原始版本，现已淘汰。

74Sxx

高速“肖特基”系列，现已淘汰。

74LSxx

低功耗肖特基系列，偶尔还在使用。

74ALSxx

高级低功耗肖特基系列。

74Fxx

比 ALS 系列更快。

CMOS 家族

40xx

老的原始版本，现已淘汰。

40xxB

4000B 系列有所改进，但仍然对静电敏感容易损坏。许多业余爱好者的电路仍然使用这种芯片，因为它们运行的电压相对较高，可以直接给 LED 甚至于小型的继电器供电。

74HCxx

高速 CMOS 系列，编号与 TTL 家族对应，引脚也与 TTL 家族匹配，但是输入、输出电压跟 TTL 家族不大一样。我在本书中大量使用这一代的芯片，因为它随处可得，并且这里的电路也无需更高速或更高功率。

74HCTxx

类似 HC 系列，只是电压也同 TTL 匹配。

74ACxx

HC 系列的高级版本。速度更快，拥有高输出能力。

74ACTxx

类似 AC 系列，但是引脚功能、电压都与 TTL 相同。

74AHCxx

高级的高速 CMOS 系列。

74AHCTxx

类似 AHC 系列，不过引脚功能及电压都跟 TTL 相同。

74LVxx

低电压（3.3 V）版本，包括 LV、LVC、LVT 以及 ALVC 系列。

由上可见，在现在这样一种情况之下，我们不得不十分小心地解读芯片的型号。那么我们到底应该使用哪一个家族、哪一代的芯

片呢？这要具体情况具体分析！以下是一些使用指南。

如下是你所不需要的。

(1) 从我们的角度来讲，速度是无关紧要的，因为我们搭建的电路不会运行到高达数兆赫兹的频率。

(2) 价格差别很小，可以说无关紧要。

(3) 对于我们的小实验电路来讲，低电压（LV）的 CMOS 芯片不是很有意义。

(4) 在同一个电路中，要尽量避免不同家族产品的混用，以及同一家族不同代产品的混用，因为它们可能不兼容。

(5) 有些现代的芯片变种可能只有表面安装的封装版本。因为它们很难处理，并且它们仅有的好处主要是小型化，因此我不推荐。

(6) 在 TTL 家族中，LS 系列以及 ALS 系列处理不了 S 系列以及 F 系列那么大的输出电流，因此我们不需要使用 LS 和 ALS 系列的。

如下是你应该使用的。

(1) 老的 74LSxx 系列 TTL 芯片曾经十分流行，你仍然可以买到一些使用这类芯片的电路原理图。你应该可以从一些网上来源买到这类芯片，如果买不到的话，也可以用 74HCTxx 芯片来代替它们，因为 74HCTxx 芯片是专门设计的，跟 74LSxx 的对应芯片具有相同的功能。

(2) 老的 4000B 系列 CMOS 芯片仍然在业余爱好者中使用着，因为这类芯片能够承受高电压，使用十分方便。TTL 芯片或与 TTL 兼容的芯片需要精确调整的 5 V 电压来驱动，而 4000B 芯片可以在 15 V 下工作，可以输出足够的功率来驱动 LED，甚至于驱动十分微小的继电器。有些业余爱好者特别钟情于 74Cxx 系列的芯片，因为这些芯片具有跟 TTL 芯片一样的引脚定义，但却可以承受更高的电压和输出更大的电流。不过有一个问题，就是 74Cxx 系列中的有些芯片几乎已经绝迹了，但被认为已经过时的 4000B 芯片却还仍然可以买得到。

底线：我的建议是，仅仅在你想要复制一个老电路的时候，或者当你无法得到一个芯片的现代等效版本的时候，才使用 4000B 芯

片（这就是我在反应计时器中指定 4026B 芯片的原因——因为我无法找到一个现代的等效芯片来直接驱动七段数码管，而我又不想让你不必要地使用过多的部件）。

如果你在 Mouse.com 之类的在线供应商处搜索，你就会发现 HC 家族是目前最为流行的芯片。这个家族的芯片都有插孔安装的版本（可以插在面包板和模型电路板上）。它们具有 CMOS 的高输入阻抗（这十分有用），又具有跟老的 74LSxx 系列芯片相同的引脚定义。

缩略语

查看参数说明书时，你可能会遇到以下的一些甚至全部的缩略语。

- VOH min：高电平时的最小输出电压。
- VOL max：低电平时的最大输出电压。
- VIH min：识别为高电平的最小输入电压。
- VIL max：识别为低电平的最大输入电压。

背景知识

逻辑门的溯源

7400 家族的集成电路是由德州仪器公司引入的，起始于 1962 年的 7400 与非门。其他公司原来也出售逻辑芯片，但是 7400 系列变成了市场的主流。阿波罗登月任务就使用了一台由 7400 芯片建造的计算机，在 20 世纪 70 年代，它们是小型计算机的主要依靠。

RCA 公司在 1968 年引入了基于 CMOS 晶体管工艺的 4000 系列逻辑芯片，而德州仪器公司的 7400 系列芯片采用的是 TTL 工艺。CMOS 芯片耗电很少，因此发热少得多，一个芯片可以给很多其他的芯片供电，使得电路设计灵活。此外，CMOS 还可以承受很宽范围的电压（从 3 V 到 15 V），但是其开关速度不允许超过 1 MHz。而 TTL 的速度是 CMOS 的 10 倍。

设计上的优化与改进逐渐消除了 CMOS 在速度上的不足，而 TTL 芯片则变得相对稀少了。不过还是有些人仍然对“上过月球的逻辑门”情有独钟。一个名叫比尔 • 巴比的铁杆发烧友使用 TTL 型的 7400 芯片搭建了一个完整的网络服务器，其目前的网址是

http://magic-1.org。图 4-65 所示为比尔组装的手工制作的电路板中的一块，他的计算机（网络服务器）就是在这些电路板上运行的。

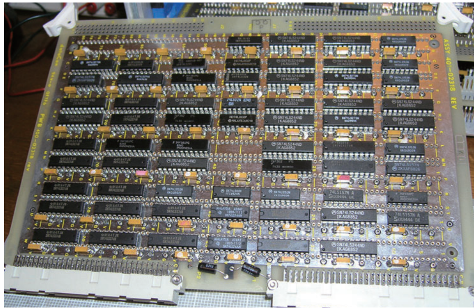


图 4-65 业余爱好者比尔 • 巴比完全使用 7400 系列逻辑芯片（其中所用最老的芯片是在 1969 年制造的）自己搭建了一个网络服务器。该网络服务器的在线网址是 http://maigc-1.org，打开该网站后，会显示服务器本身的图片以及建造的细节

基础知识

常用元件型号

在每个 14 引脚的芯片中，可以包含 4 个 2 输入的门，或者 3 个 3 输入的门，或者 2 个 4 输入的门，或者一个 8 输入的门，或者 6 个单输入的反相器，如下表所示。

	2 输入	3 输入	4 输入	8 输入
AND	7408	7411	7421	
NAND	7400	7410	7420	7430
OR	7432			744078*
NOR	7402	7427		744078*
XOR	7486			
XNOR	747266			
反相器	（单输入）7404			

*744078 在同一个芯片上有一个 OR 输出和一个 NOR 输出

图 4-66 到图 4-74 显示了你最可能用到的逻辑芯片的内部连接。请注意 7402 或非门的逻辑输入与输出的布局跟所有其他芯片都不相同，是倒过来的。

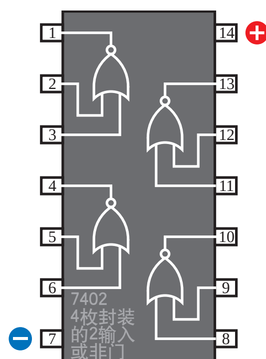


图　4-66

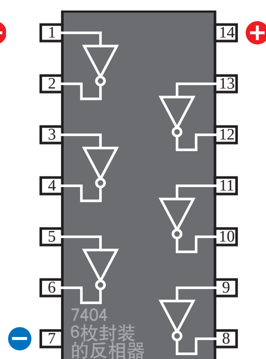


图　4-67

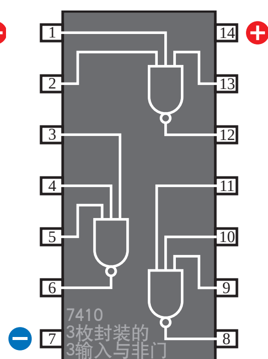


图　4-68

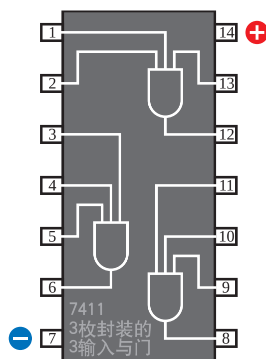


图　4-69

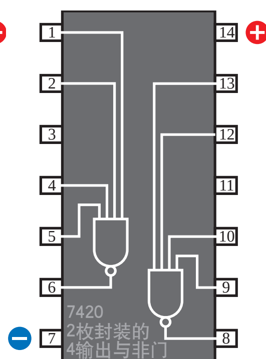


图　4-70

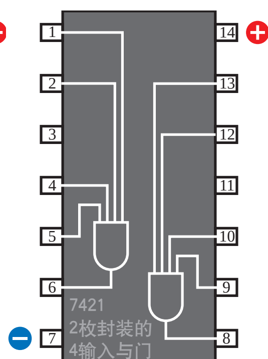


图　4-71

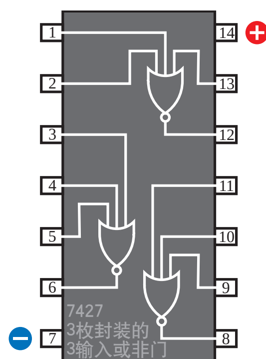


图　4-72

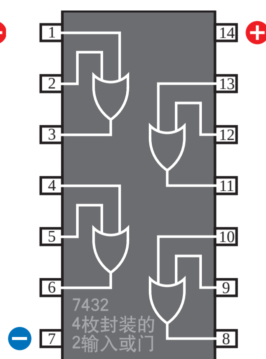


图　4-73

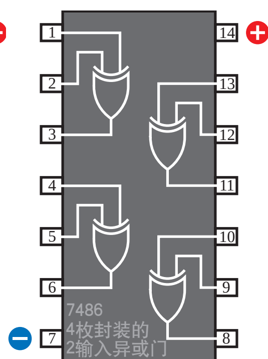


图　4-74

基础知识

逻辑门的连接规则

以下是允许的情况。

- 可以将一个门的输入直接连接到调压电源的正端或负端。
- 可以将一个门的输出直接连接到另一个门的输入。
- 一个门的输出可以驱动其他许多门的输入（这称作“扇出”）。精确的比值取决于具体的芯片，不过一个逻辑输出至少可以驱动 10 个输入。来自逻辑芯片的输出可以驱动 555 定时器的触发脚（引脚 3）。然后定时器的输出可以送出 100 mA 的电流，这可以很容易地点亮 6 个 LED 或一个小的继电器。
- 低电平输入不一定意味着 0 电压。74HCxx 逻辑门将任何低于 1 V 的电压辨识为“低”。
- 高电平输入不一定必须是 5 V。74HCxx 逻辑门将任何高于 3.5 V 的电压辨识为“高”。

请看图 4-75 和图 4-76，在图中我对 74HCxx 和 74LSxx 芯片的输入侧和输出侧允许电压进行了比较。

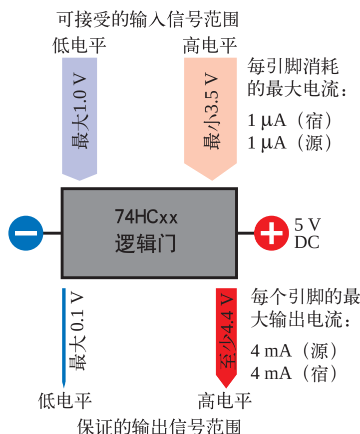


图 4-75 逻辑芯片的每个家族，以及每个家族中的每一代都具有不同的输入和输出的最小和最大电压标准。本图显示的是 CMOS 家族中 HC 代使用的标准，本书的大多数项目选用的都是 HC 代的芯片。请注意，比起能够输出的电流来，输入所需的电流是极小的。差额的这部分电流是由芯片的供电电源来补足的

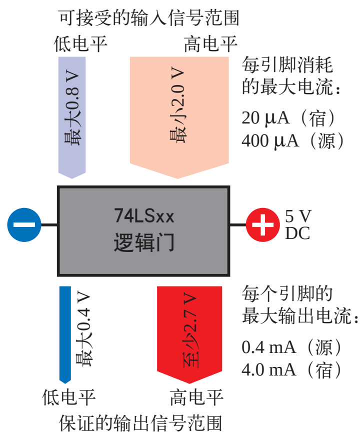


图 4-76　由于 TTL 家族中 LS 代的芯片具有很不一样的输入电压和输出电压容差标准，因此在同一个电路中，TTL 的 LS 代芯片不应该与 CMOS 的 HC 代芯片混合使用，除非使用上拉电阻将 LS 芯片的输出高电平上拉到跟 HC 代芯片的标准相兼容。具体请参考实验 21 中使用 LS 芯片的学习实例

以下是不允许的情况

- ❐ 不得有浮位的输入引脚！对于 CMOS 芯片来讲，比如说 HC 家族的芯片，必须将输入引脚连接在一个已知的电压上，即使这些输入引脚属于芯片上未被使用的逻辑门也必须如此。当你使用单刀单掷开关来控制一个输入时，记住当其位于“off”位置时，它会使输入处于未连接的状态。因此应该使用一个上拉或者下拉电阻器来防止这种状态。具体见图 4-77。

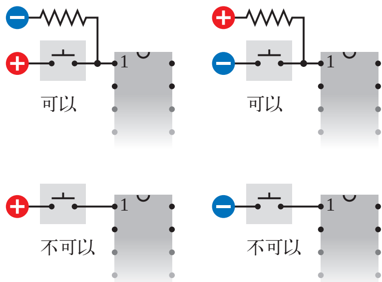


图 4-77　由于 CMOS 芯片对输入波动十分敏感，因此逻辑输入永远不应该被留在“浮位”或者未连接到某个确定的电源的状态。这就意味着任何的单掷开关或按钮都应该与上拉或下拉电阻器一起使用，以便在触点打开时，输入仍然是确定的

- ❐ 不要使用未经调整的电源或超过 5 V 的电源来给 74HCxx 或 74LSxx 逻辑门供电。
- ❐ 即使是低电流的 LED，当使用逻辑门的输出来给其供电时，一定要小心。要核实到底需要多少毫安的电流。此外，当一个逻辑门的输出被“共享”，既要为另外一个逻辑门提供输入，又要驱动一个 LED 时，需要特别小心。LED 可能会将这个输出电压拉低到很低的一个水平，以致另外一个逻辑门无法辨识它。在修改电路或设计新电路时，总是应该校核电流和电压。
- ❐ 永远不要往逻辑门的输入引脚上施加有效的电压或电流。也就是说，不要将一个输入强加到一个输出上。
- ❐ 永远不要将两个或多个逻辑门的输出连接在一起。如果它们必须共享一条共同的输出线的话，请使用二极管来对它们进行彼此隔离。具体见图 4-78。

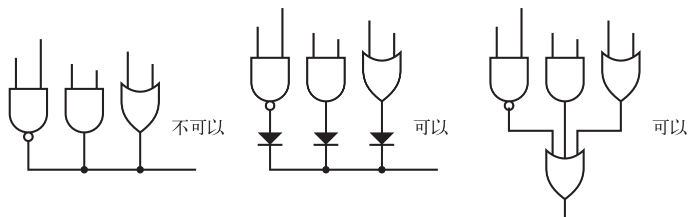


图 4-78　一个逻辑门的输出不应该被馈送到另一个逻辑门的输出。可以使用二极管来对它们进行隔离，或者用另一个门来对它们进行连接

在 74HCxx 逻辑家族中，逻辑门的每个输入仅仅消耗 1 mA 的电流，而输出则可以发出高达 4 mA 的电流。这似乎有点不合常理：一个芯片发出的电流为什么可以大于它吸收的电流呢？其答案在于：它同时还通过连接在其引脚 7 和引脚 14 上的供电电源消耗电力。这就是那些多出来的电流的来源。

由于一个芯片的逻辑输出能力可以比逻辑输入大，因此我们可以使芯片处于这样一种状态，即让它自己保持为“开通”状态，也就是说类似报警器项目中那样，通过接线自锁的状态。在逻辑芯片中完成这个任务的最简单方法是将输出的一部分馈送到某一个输入。

图 4-79 显示了一个与门，其一个输入连接在电源的正端，另一个输入则通过下拉电阻器保持在低电位（但通过按下一个按钮可以使之变成高电位）。通过一个信号二极管将该芯片的输出连回到按钮所控制的那个输入。请记住二极管的某一端有一个标记，用来指明二极管上连接到电源负侧的那一端，此处这一端应该连接到 10 kΩ 的电阻器。

图 4-79 的电路原理图跟面包板上的布局是相似的，图 4-80 则给出了该电路的一个简化样式。

从现在开始，我将不再麻烦地绘出电源调压器以及相应的电容器。每当你看到标记有“调整的5 V直流”字样的电源时，就要记得它们的存在。

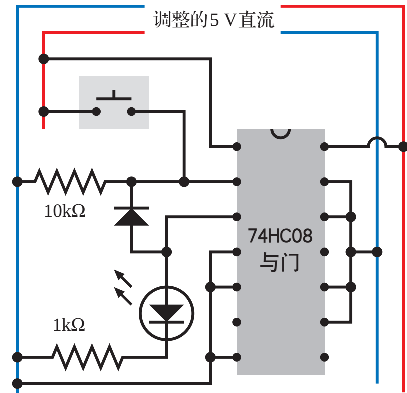


图 4-79　使用一个二极管将逻辑门的逻辑输出馈送到它自己的一个输入，以使逻辑门在接收到一个短暂的逻辑输入脉冲之后，变成闩锁状态

当你接通电源时，LED 会跟接通之前一样是不亮的。与门需要其两个逻辑输入都为正电压的时候，才能产生正的输出，而现在它仅仅只有一个输入是正电压，另一个输入的电压被 10 kΩ 的电阻器拦下去了。现在我们按住按钮，LED 点亮了！再放开按钮，我们看到 LED 仍然保持发亮，这是因为与门的正输出通过二极管流了回来，并且它很高，高得足以克服下拉电阻器的下拉作用。

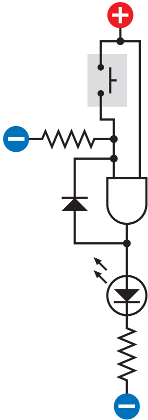


图 4-80　这是面包板布局的电路原理图的简化版本，简化的目的是为了更清楚地说明逻辑门在接收到一个输入脉冲之后使自己进入闩锁状态的原理

与门的输出在给它自己的输入供电，因此 LED 将保持发亮直到我们断开其连接为止。这个配置是一种简单的“闩锁”，在使用者按下并释放某个按钮之后，我们希望

输出继续保持下去的时候，这个配置十分有用。

你不应该简单地使用一条普通的导线将逻辑门的输出连接到其某个输入，因为这将导致来自触动开关的正电压通过该导线，从而干扰输出信号。请记住，你永远不应该给逻辑门的输出引脚施加电压。图中的二极管正是用来防止这种事情发生的。

如果你已经掌握了逻辑门的基础知识，你就可以继续做我们第一个真正的实验项目了，这个实验将用到迄今为止我所介绍的所有信息。

实验 20　一个强大的组合

假定你想防止别人使用你的计算机。我想到有两种方法来实现这一点：使用软件，或者使用硬件。软件的方法就是使用某种启动程序，来拦截正常的启动步骤，要求使用者输入一个密码。你肯定可以这样做，但我认为用硬件来完成这个任务更为有趣，而且只有这样才跟本书的内容相关。我想到的方法是使用一个数字键盘，在使用者输入一组秘密的按键组合之后，计算机才可以启动。



保修问题

如果你从头到尾做这个实验项目，你会打开你的台式计算机，剪断一根导线，并且在机箱上钻一个孔。毫无疑问，这将使你的保修权利失效，如图4-81所示。如果这令你不安的话，可以考虑以下3种选择。

(1)　在面包板上玩味这个电路，并且仅止于此。

(2)　在某种其他设备上使用数字键盘。

(3)　在一台旧计算机上使用这个电路。

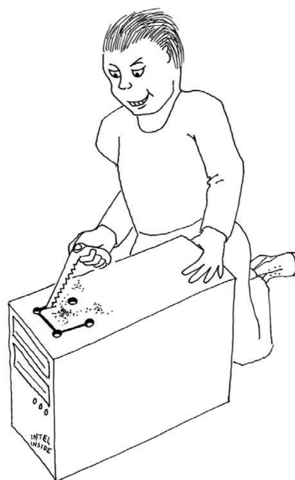


图 4-81　注意：这样做可能会使你的保修权利失效

以下是需要用到的东西。

- ❒ 数字小键盘。如同本章开头的购物清单中所指定的那样，它必须有一个“公共端”或者说“共输出”。图 4-82 的电路原理图表达了我的意思。在键盘的内部，有一根导线（我特意将其绘制成红色以便同另一根相区别）将各个按钮的一侧全部连接在一起。这根导线对于所有这些按钮来讲是“共用的”。该导线是从小键盘底部的一组引脚（我特意用黄色将它们标出）中最边上的一个连接头开始的。

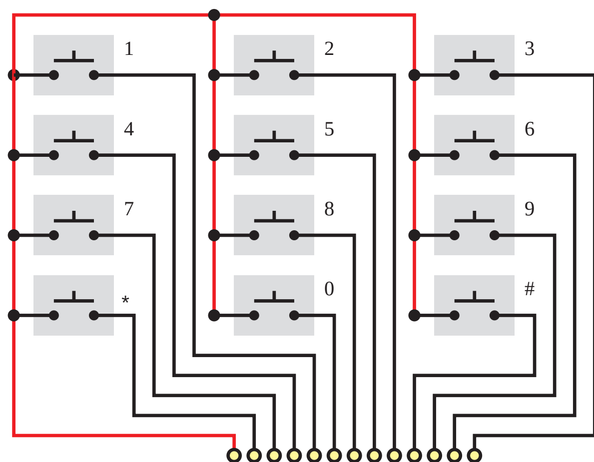


图 4-82　实验 20 所需的小键盘要求有一个公共端子连接到 12 个按钮中每一个的一侧。图中从公共端子引出的导线被绘成红色，为的是更加容易辨识

- ❒ 采用“矩阵编码”的小键盘是无法在我下面将要描述的电路中正常工作的。如果你找不到我所推荐的 Velleman 牌的小键盘，并且也找不到其他类似的小键盘，那么你可以使用 12 个独立的单刀单掷按钮。不过这将花费较多。
- ❒ 74HC08 逻辑芯片，它包含 4 个与门，数量：1 个。
- ❒ 74HC04 逻辑芯片，它包含 6 个反相器，数量：1 个。
- ❒ 555 定时器芯片，数量：1 个。
- ❒ 闩锁继电器，5 V，双刀单掷或双刀双掷、“2 form C”封装（即双刀 C 型触点的形式，其中一个常闭，一个常开，在常开触点闭合前先断开常闭触点），可以用松下的 DS2E-SL2-DC5V 或类似的。必须有两个独立的线圈（一个用于闩锁，一个用于解除闩锁），且都有独立的输入，数量：1 个。

- ❒ LED，5 mm 的基本型，颜色你自己确定，数量：3 个。
- ❒ 带状电缆，至少要有 6 根导线，如果你想做出一个很整洁的产品，可以使用硬盘驱动用的那种电缆，从上面分出 6 根导线就可以了，也可以去 eBay 购买。
- ❒ 打开计算机机箱用的工具，用来在机箱上钻 4 个孔，在孔之间锯开口子，为小键盘开出一个矩形的开口（如果你想从头到尾完成这个实验项目的话）。此外，在开口之后，还需要 4 个小螺钉来将小键盘固定在计算机的机箱上。

电路原理图

这一次我希望你先学习电路原理图，然后再搭建实际的电路。让我们先从图 4-83 所示的简化版本的电路开始。

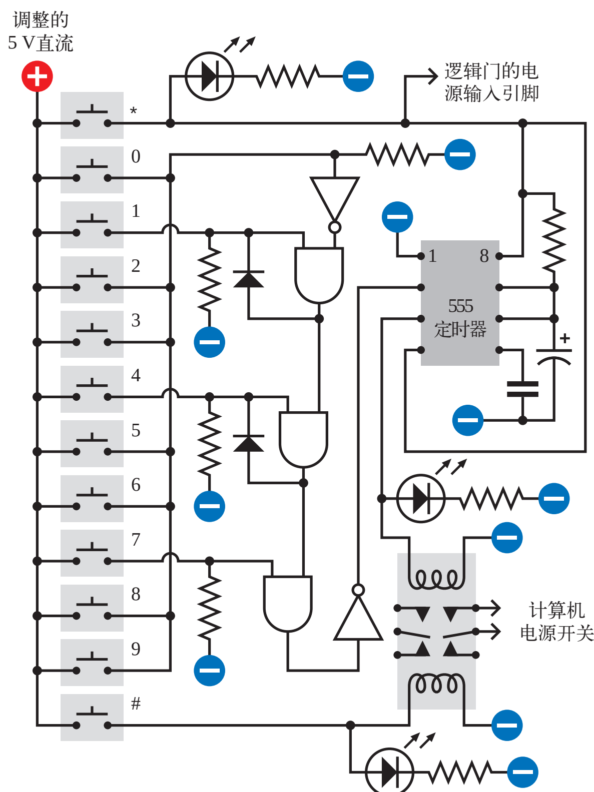


图 4-83　这个简化的电路原理图显示了组合锁电路的基本结构

我希望这个电路由电池来供电，这样你就无需为它准备一个独立的电源，或试着从计算机的 5 V 总线引出电源（这更糟糕）。电池供电意味着电路在大多数时间里都应该是“断开”状态，以防止电池消耗太快。由于小键盘有两个多余的按钮（星号和镑值符号），我将使用星号作为“电源接通”按钮。当你按下它的时候，电路原理图顶部的那个 LED 亮起，以确认一切正常，并且这个按钮将电力输送到两个逻辑芯片和 555 定时器。在你键入一个三位码来解锁计算机的时候，必须让星号按钮保持按下的状态。

我任意地挑选了 1-4-7 作为上述的三位码。让我们来跟踪一下，看当你输入这个序列时会发生什么事情（很自然，如果你搭建了这个电路，你就可以通过接线将其设成你自己喜欢的任意三位数字）。

按下按钮 1 时，将发送正电压到第一个与门的一个逻辑输入。这个门的另一个逻辑输入也是正的，因为它的前面有一个反相器，将使与门激活，使其输出变正。由于与门的输出通过一个二极管被接回到了它的开关输入端，因此与门将自锁。所以即使在你放开按钮 1 之后，这个门的输出也将维持高电平。

第一个与门的输出同时为第二个与门提供了一个逻辑输入。当你按下按钮 4 时，你就将一个正电压输送到了第二个与门的另外一个逻辑输入端，因此它的输出变高并自锁，就跟第一个与门的情况一样。

第二个与门的输出又馈送给第三个与门，因此当你按下按钮 7 时，第三个与门的输出从低变高。这个输出又通过一个反相器，反相器的输出是由高变低的。然后这个由高到低的跳变又送到被接成单稳态的 555 定时器的触发引脚上。

当 555 定时器的触发引脚由高变低时，定时器就通过其输出引脚 3 发出一个正脉冲。这个正脉冲将被送到闩锁继电器的上部线圈，同时还会点亮一个 LED，表示代码已被接受，继电器已被激活。

该继电器中的两个触点则连接到计算机的加电按钮。稍后我将解释，这样做对于任何现代的计算机都将是安全的。

由于我们使用的是闩锁继电器，当它翻转到“on”状态后，就会保持这个状态，即使来自定时器的功率脉冲结束以后也是如此。现在你可以放开星号按钮，断开连接到组合锁的电池供电，并按下加电按钮来启

动计算机了。

在你结束工作之后，你可以像往常一样关闭计算机，然后按下小键盘上的英镑按钮，这将使继电器翻转到其另一个位置，使组合锁回到初始的状态。

错误的输入

如果你输入了错误的代码将发生什么呢？如果你按下了 1、4、7 以外的任何其他按钮，那将把正电压输送到靠近电路原理图顶部的反相器上。这个正电压将克服通过下拉电阻器施加在反相器上的负电压的作用，使反相器输出一个负电压，这个负电压将施加在第一个与门的一个逻辑输入上。如果这个与门原来处于自锁导通状态，那么这个负输入将使其断开。如果第一个与门的输出在给第二个与门供电，那么这也将使第二个与门断开。

因此，在输入第一个、第二个或第三个秘密代码时若发生了任何的错误，都将使与门复位，迫使你从头开始重新输入这个代码序列。

如果你输入 1、4、7 的顺序不对会怎么样呢？电路不会做出反应。第三个与门需要由第二个与门提供一个高电平输入，第二个与门又需要由第一个与门提供一个高电平，因此你必须按正确的顺序来激活与门才行。

释疑

为什么要通过一个 555 定时器来将脉冲输送到继电器呢？因为与门的逻辑输出无法提供足够的电流。我本来也可以让其通过一个晶体管的，但是我更喜欢这样一个主意，就是用一个固定长度的脉冲来使继电器翻转，并让 LED 点亮大约 1 s 的时间，而不管使用者按下按钮 7 的时间有多么短暂。

为什么要用 3 个 LED ？因为当你按下按钮来解锁计算机的时候，你需要知道所发生的情况。电源接通 LED 可以让你确信电池还有电。继电器激活 LED 将告诉你系统当前是解锁的，这在你听不到继电器合上的声音时可以起到提醒的作用。系统重锁 LED 用来让你确信你已经锁好了计算机。

由于所有的 LED 要么是直接由 5 V 供电来驱动的，要么是由 555 定时器的输出来驱动的，因此没有必要采用低电流的 LED，并且可以采

用 330 Ω 的电阻器与它们串联，这样它们会更好看、更明亮。

应该如何连接小键盘和电路呢？这就是使用扁平电缆的地方了。请小心地剥去每根导体端部的绝缘层，并将导体焊接在接触片上或者小键盘边缘的连接端上。将电缆另一端的导体插在面包板上（当你搭建测试电路时），或者将它们焊接到模型电路板上（当你在搭建永久性电路的时候）。在你的机箱上找一处方便的位置，来安装模型电路板，具体可以使用双面胶、小螺栓或任何其他方便的工具来进行安装。电路板上要带一个 9 V 的电池盒，另外也不要忘记使用调压器来将电压降低到 5 V。

面包板实现

毫无疑问，现在你已经发现面包板十分方便，在它上面可以快速地插入元件，并建立连接，但是面包板的导体布局使得你无法按照直觉的配置来安装元件。不过，只要你小心地比对图 4-83 所示的面包板电路原理图与图 4-84 的简化电路原理图，你就会发现二者的连接是相同的。

为了帮助理解，我绘出了芯片内部的逻辑门。此外我还跟从前一样将供电电源绘成彩色的，以降低混淆的风险。电源的正端仅连接到小键盘的公共端，你必须按下星号键，以便沿着扁平电缆给芯片供电。

请注意，小键盘上“错误”的数字都是短接在一起的。在将来你想改变代码

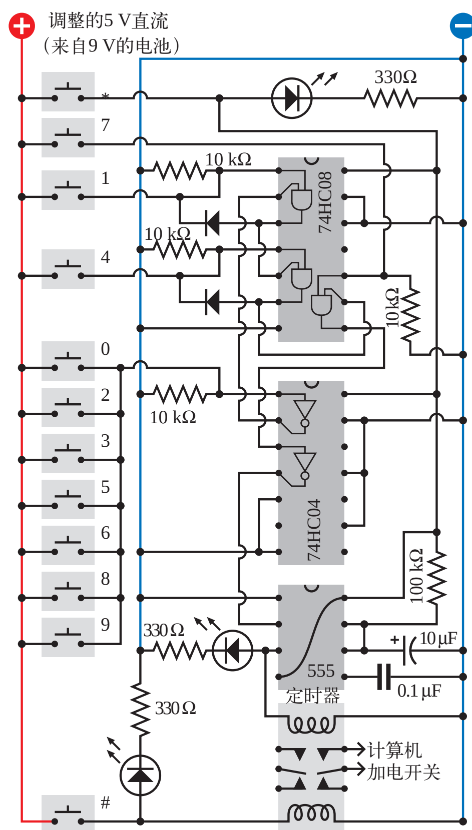


图 4-84　重绘的组合锁电路原理图，用来说明如何在面包板上布置元件

组合的时候，这将给你带来不便。我将在接下来的“功能增强”小节中建议另一种选择。就目前来讲，理想的办法就是从小键盘的每一个接头上接出一根导线，再连接到面包板上面的电路，并在面包板上用跳接线将“错误”的小键盘数字短接在一起。

> 如果你搭建了电路但却不明白为什么一切都不起作用，那么最大的可能就是你忘记了让星号按钮保持按下的状态。

另外你还要注意，当用万用表来测量与门的输入时，你的手指若接触到万用表的探针，那么这将足以触发灵敏的 CMOS 输入，从而给出一个错误的正输出。

一个小细节：计算机接口

老的计算机通常在背面有一个很大的开关，它安装在计算机内的一个很重的金属盒子上面，这个金属盒子将家用的交流转换成计算机所需的调整电压。大多数现代的计算机不再采用这种设计了，你只需将计算机插在家里的电源上，并轻按机箱上的一个按钮（如果是运行 Windows 的计算机）或者键盘上的一个按钮（如果是 Mac 计算机），它就会往主板发送一个低电压脉冲。

从我们的角度来看，这是完美的事情，因为我们不必和高电压打交道。你甚至无需考虑去打开上面安装有风扇、里面安放着计算机电源的金属盒子。你只需查找从“加电”按钮连接到主板的导线（对于运行 Windows 的计算机来讲，里面通常有两根导体）即可。

为了核实你找对了导线，请在确保你的计算机没有插上电源的前提下，将自己接地（因为计算机中包含 CMOS 芯片，它们对静电十分敏感），再十分小心地剪断导线的两根导体中的一根，然后再插上计算机的电源，并试着按下“加电”按钮。如果什么事情也没有发生，那么你也许剪断了正确的导线。即使你剪断的不是“加电”按钮的连线，但只要它能够阻止计算机启动，那它就是你要找的导线，我们就使用它了！请记住，我们不会在这根导线上引入任何的电压。我们只是把继电器作为一个开关，来将你剪断的导线重新连接起来。因此，只要你保持一种冷静平和的心态，去找出一根能够使计算机启动起来的导线，那么你做的事情就不会带来任何的问题。如果你真的十分害怕会出现错误的话，

那么请在网上找出你的计算机的维修手册。

在你已经找到了所要的导线，并且剪断了其中一根导体之后，请再次拔下计算机的电源，并在下面的步骤中保持不插电源。

找到该导线连接主板的地方。通常这个位置有一个可拔插的接头。首先对它进行标记，以便你能够正确地将其插回去，在接下来的几步之中，要保持它断开。

将你剪断的导线的两个端部的绝缘层剥去，在上面焊接一段两导体的导线，如图 4-85 所示，并用热塑管来保护焊点（这一点很重要）！

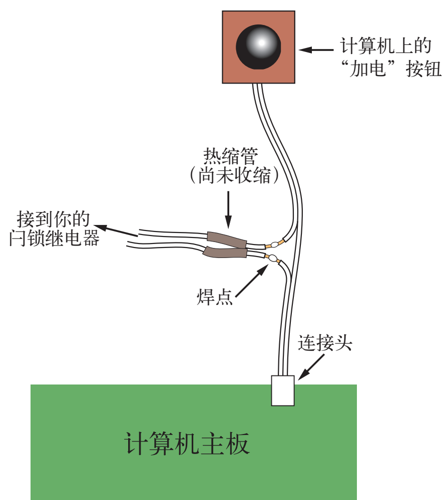


图 4-85　通过剪断计算机“加电”按钮上引出的一根导体，焊接上延长线，并用热塑管来覆盖焊点，就可以将组合锁项目的电路连接到典型的台式计算机

将你新接上去的导线连接到闩锁继电器的一对触点上，并且要确保当解锁操作使继电器激磁时，这一对触点能够在继电器的内部闭合起来。你肯定不想犯下这样一类的错误：在你想要锁住计算机的时候却将其解锁了，或者反过来的情况。

将你从主板上断开的那个连接头重新接上，再插上计算机的电源，试着给计算机加电。如果什么也没有发生，那就有可能一切正常！现在在你的小键盘上输入那组秘密组合（同时要按住星号按钮让电池来供电），并倾听继电器闩锁时发出的嘀嗒声。然后再试着按“加电”按钮，这次一切都应该工作起来了。

功能增强

在任何项目结束的时候，你都会发现还有更多的事情可以做。

为了使这个装置更加安全，你可以去掉计算机机箱上常用的螺钉，代之以防拆螺钉。找个在线资源查找“防拆螺丝”（tamper-proof screw），例如到 http://www.mcmaster.com 上去查找。当然，你也需要有适合这种螺丝的特殊工具，以方便安装（或者在你的安保系统因为某种原因出现问题时能够将防拆螺丝去除）。

作为另一个功能增强，我们可以增加一个 555 定时器，由星号按钮来激活它，以便给其他芯片提供有限时间的供电（譬如说 30 s），让你有足够的时间来解锁系统。这将使你在输入解锁码时，无需一直按住星号按钮。555 定时器可以为所有其他芯片供电，因为这些芯片都用电不多。为了简单起见，在上面介绍的电路中我省去了这个功能。

如果你是一个特别担心安全的人，那么你可以考虑另外一个功能增强，就是使用 4 按钮的代码。毕竟 74HC08 芯片上还有一个未被使用的与门。你可以将其插入到现有的与门链中去，并将它连接到另外一个自己选定的小键盘按钮上。

还有另外一个增强就是在无需脱焊和重焊导线的情况下，更变代码。你可以使用我在实验 18 的项目中推荐的微型插座。这让你可以对来自小键盘的导线端部的连接进行交换。

如果你是一个极端的偏执狂的话，那么你可以将这个电路修改成这样：当输错代码的时候，就接通一个大电流的继电器，它提供巨大的过载电流，使你的 CPU 熔化，并往一个紧绕在你的硬盘上的磁性线圈里面通上巨大的电流脉冲，在一瞬间将硬盘中的数据变成垃圾（见图 4-86）。实际上，如果你想要保护信息的话，与用软件来删除数据的方法相比，把硬件弄得一团

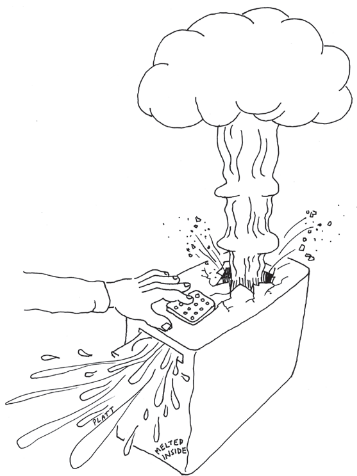


图 4-86　对于那些极端的偏执狂来讲，由一个秘密按键组合所控制的熔断 / 自毁系统可以给他们提供增强的保护，以防止数据被盗，或防止被美国唱片工业协会的调查员闯入家里提出一些关于文件共享之类的恼人问题

糟的方法有很大的优点。它不仅更快，难以停止，而且破坏往往是永久性的。这样的话，当美国唱片工业协会的人来到你家里，要求你打开计算机以便他们可以检查里面有没有违法文件共享时，你只需不经意地给他们一个错误的解锁码，然后坐到远一点的地方，等着熔化的绝缘层发出刺鼻的气味。

如果你要选择上面这个选项的话，那我肯定是不会为其后果负责的。

从更为现实的层面上来讲，没有任何系统是绝对安全的。硬件锁设备的价值在于，如果有人确实攻破过它的话（例如，想出办法卸下了你的防拆螺丝，或者干脆简单地用金属剪子将你的小键盘从计算机的机箱上拆下来），至少你知道发生了某些事情——特别是若你在螺丝上涂上少许的油漆，你就可以检查它们是否被搞混过。相反，如果你使用的是软件保护并且被人攻破了，那么你有可能永远也不知道自己的系统被暴露了。

实验 21　快手抢答

接下来的这个实验项目将使我们深入地理解反馈的概念，在其中，输出将被回送以影响输入——在这个例子中是阻断输入。这虽然是一个小项目，但却十分微妙，其中的概念对于将来的实验十分有用。

以下是你需要用到的东西。

- 74HC32 芯片，它包括 4 个或门，数量：1 个。
- 555 定时器，数量：2 个。
- 单刀双掷开关，数量：1 个。
- 单刀单掷触动开关，数量：2 个。
- 各种电阻器。
- 5 V 电源，跟以前一样由调压器提供的。

目标

在“危险”（Jeopardy）一类的电视竞答节目中，竞争者抢着回答每个问题。第一个按下回答按钮的人自动地将其他竞争者锁定在外，使他们的按钮失去作用。我们如何才能做出一个电路来完成同样的事情呢？

如果你在网上搜索，你就会发现在好几个电子业余爱好者网站上都有人提出了一些电路来完成这个工作，但是这些电路缺少一些我认为必

不可少的特点。我这里将要使用的方法既比它们简单又比它们考虑得周到。它更为简单的原因在于它使用的芯片数量极少，而它考虑更为周到的原因则在于它整合了“竞答主持人控制”，可以实现更为现实的竞赛。

我将为二人竞赛的版本提供一些初始的想法。在这些想法实现以后，我将说明如何将其扩展到 4 人甚至更多人竞赛的情况。

实验构思

我想给你展示这样的实验项目由一个想法变成一个完美的版本的全过程。通过介绍这个电路开发全过程，我希望能激励你在未来自己出主意，这要比重复别人的工作有价值得多。因此请加入我的行列，一起来做实验构思，考虑我们如何才能实现从问题到解答。

首先让我们来考虑基本概念：两个人各有一个按钮，谁先按下就会将另外一个人锁在外面。对于这样的东西，我若绘制一个草图来将其可视化，会有很大的帮助。在图 4-87 中，每个按钮发出的信号都要通过一个被我称作“按钮阻断器”的部件，这个阻断器是由另外一个人的按钮来激活的。现在我还不能完全确定按钮阻断器到底该是什么样子以及它到底该如何工作。

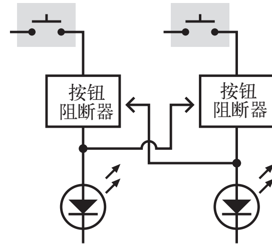


图 4-87　竞答器项目的基本概念是，一个按钮的输出应该被反馈回去截断另外一个按钮的输出。到目前为止，我还没有想出“阻断器”电路应该如何工作

在我做以上思考的时候，我发现了一个问题。如果我想将以上的电路扩展到 3 个竞争者，电路就会变得很复杂，因为每一个竞争者都必须激活两个“按钮阻断器”部件。图 4-88 显示了这种情况。如果我们有 4 个竞争者，那么电路会变得更为复杂。

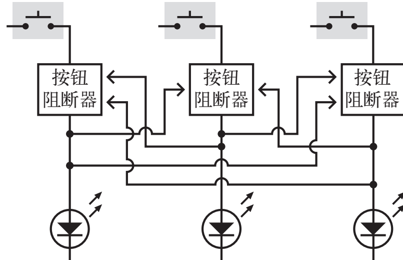


图 4-88　当增加一个按钮时，竞答的概念就会变得更加复杂。如果再增加第四个按钮，电路的复杂程度就将变得难以处理。因此应该有其他更好的方法

每当我看到如此复杂的情况时，我就认为应该有更好的解决方法。

此外还有另外一个问题。当一个竞争者放开按钮时，其他竞争者的按钮也就将重新解除阻断。因此我们需要一个闩锁来保持第一个竞争者的信号，以便继续阻断其他竞争者。

这样一来，问题似乎就变得更为复杂了。不过请等一会儿，如果我有一个闩锁可以让抢赢的竞争者放开他的按钮的话，我就不会在乎任何其他的按钮是否被按下了——这也包括抢赢者的按钮。一旦抢赢者的信号被闩锁了，所有按钮就都被阻断了。这将使问题变得相当简单。我可以将这个思想总结成以下的一系列事件。

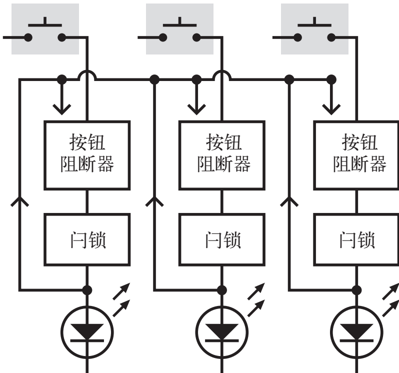


图 4-89　如果在每个按钮下面添加一个闩锁，就可以保持一个输入而阻断所有按钮的所有输入。这使概念得以简化

(1) 第一个竞争者按下按钮。

(2) 其信号被闩锁。

(3) 闩锁住的信号被反馈，并阻断所有的按钮。

新的草图如图 4-89 所示。现在的配置是模块化的，可以被扩充到几乎任意数目的竞争者，只需增加更多的模块就可以了。

不过这里还是有某种重要的东西被遗漏了：一个复位开关，用在当竞争者已经有足够时间来按下按钮并查看到底谁赢了之后，使系统回到起始状态。此外，我们也需要一种方法来阻止竞争者在主持人还没有提完问题之前就按下按钮。也许我们可以将这些功能结合在同一个开关中，置于主持人的控制之下。当开关处于复位位置时，它可以使系统复位，并移除各个按钮的电源。当开关处于竞答位置时，它终止系统的复位模式，给各个按钮供电。图 4-90 给出了实现这种思

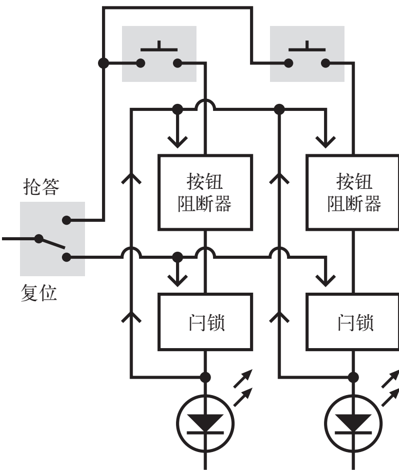


图 4-90　需要一个主持人开关，以激活按钮到初始状态，并在记录到一个抢赢者之后使电路复位

路的电路。图中绘出的是两个竞争者的情况，目的是为了尽可能地降低接线及功能方块的杂乱程度，不过这个概念仍然可以很容易地进行扩展。

现在我不得不处理方框图中的一个逻辑问题。根据我所绘制的方框图（图 4-90），左手侧闩锁的输出在进入“按钮阻断器”之后，还会沿着导线往下进入到另一半电路（逆着箭头的方向），因为所有东西都是连接在一起的。换句话讲，如果左手侧的 LED 点亮了，右手侧的 LED 也会亮起。我如何才能阻止这种事情发生呢？

固然，我们可以在“朝上”的导线中放入二极管来阻断电流往下走。不过我这里有一个更为优雅的主意：增加一个或门，因为或门的输入在电气上是彼此隔离的。图 4-91 显示了我的这个想法。

一般的或门只有两个逻辑输入。这会不会妨碍我添加更多的竞争者呢？不会的，因为你实际上可以买到 8 输入的或门。如果其中任何一个输入为高，输出就为高。对于少于 8 个竞争者的情况，我们可以将未用的输入接地短路，忽略它们的存在。

再看看图 4-91，现在在我的心目中，被我称作“按钮阻断器”的这个东西的实际样子已经变得越来越清楚了。我认为它也应该是一个逻辑门。它应该说：“如果只有一个来自按钮的输入，我将让其通过，而如果有第二个来自或门的输入，我则不会让其通过。”

这听起来像是一个与非门的功能，但是在我开始选择芯片之前，我必须先确定闩锁的结构。我本来可以购买一个现成的触发器，它的特点在于当其收到一个信号时会翻转到“通”的状态，而在收到另一个信号时则会翻转到“断”的状态，但现在的问题是，包含触发器的芯片往往具有过多的功能，这些功能对于我们这种简单的电路来讲

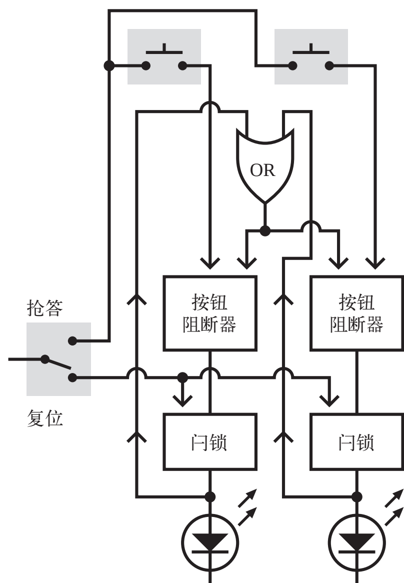


图 4-91　为了阻止一个闩锁的输出沿着电路回馈到另一个闩锁的输出上，可以用一个或门来将输出组合起来

实在是个浪费。因此我将再次使用 555 定时器，让其工作于触发器模式。555 定时器需要的连接很少，原理也很简单，并且可以输出相当大的电流。它们的唯一不足是需要在触发引脚上施加一个负的输入来产生一个正的输出。不过我认为我能够克服这个问题。

这样一来，我们最后就得到了图 4-92 所示的一个简化的电路原理图。由于我喜欢按实际的引脚位置顺序来绘制 555 定时器，因此我不得不对各个器件的位置做少许调整，以使导线交叉最少，不过你可以看到，从逻辑上，它的基本思路是一样的。

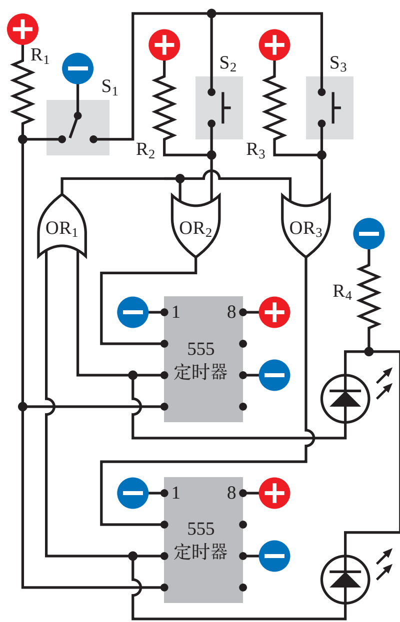


图 4-92　既然竞答器电路的基本概念已经构思出来了，我们就可以插入特定的器件，它们的输入和输出应该彼此兼容

在你搭建电路之前，请再对其原理做一次从头到尾的审查，因为这是最后一个步骤，所以要确保不存在错误。必须记着的一个重要事情是，555 定时器需要在其触发引脚上输入一个负的输入，才能产生一个正的输出。因此，当任何竞争者按下按钮时，这个按钮就必须在电路中产生一个负“电流”。这有点儿不符合人们的直觉，因此我在图 4-93 中给出了一个分 3 个步骤的图形说明，以便阐明其工作原理。

第一步，竞答主持人提问之后，将他的开关拨到右侧，给竞争者的按钮提供（负）电源。只要没有人按下按钮，上拉电阻器就会给 OR_2 和 OR_3 提供正电压。因为或门只要有一个正的输入就会得到正的输出，所以 OR_2 和 OR_3 将保持 555 定时器的触发引脚上的输入为正。因此它们的输出就将保持为低，也就不会有什么事情发生。

第二步，左手侧的竞争者按下了他的按钮。现在 OR_2 有两个负的输入，因此其输出变低。但这时 IC_1 还没有反应。

第三步，仅仅 1 ms 之后，IC_1 感觉到了其触发引脚上的低电压，因

此其输出引脚 3 上的输出变高，点亮 LED。请记住，这个 555 定时器处于触发器模式，因此它将立即锁存自己的状态。与此同时，它的高电平输出也馈送到 OR_1。因为 OR_1 是一个或门，只需一个高电平输入就足以使其输出为高电平，因此它将把这个高电平回馈到 OR_2 和 OR_3。现在既然它们都有了高电平输入，它们的输出也就都变高，并且无论将来哪个竞争者再按下按钮，它们都将保持为高。

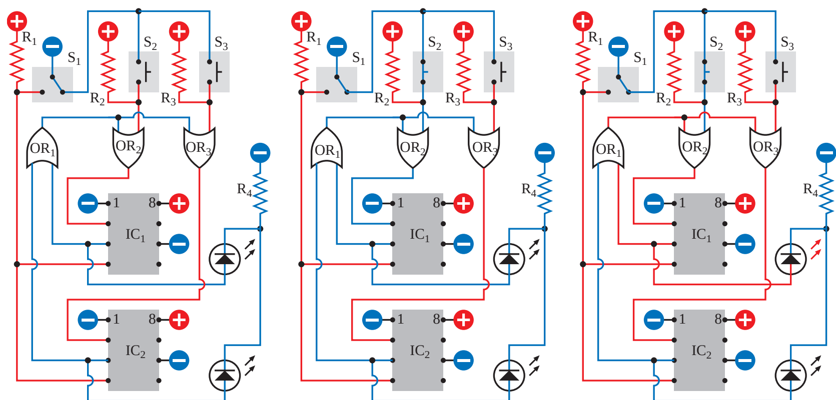


图 4-93　这 3 个电路原理图说明了当一个按钮被按下时，高、低电压（红线和蓝线）在竞答器电路中的传播的情况

由于现在 OR_2 和 OR_3 都具有高电平输入和输出，IC_1 和 IC_2 无法触发。但是 IC_1 仍然被锁存在其“通”的状态，保持 LED 发光。

要改变 IC_1 的唯一方法就是竞答主持人将他的开关拨回到左侧。这将会在两个定时器的复位引脚上施加负电压，结果它们的输出变低，LED 熄灭，电路回到最初的状态。既然已经复位，竞答主持人就可以提另外的问题了，竞争者的按钮在竞答主持人再次将开关拨到右侧之前是不起作用的。

只有一种情况我没有介绍，就是若两个竞争者绝对同时地按下了按钮会怎么样呢？在数字电路的世界里，这是极其不可能的。即使是 1 ms 的差别也足以使电路做出反应，去阻断另一个按钮。不过如果由于某种原因两个按钮真的在同一瞬间被按下了，那么两个定时器都应该做出反应，两个 LED 都将亮起，以表明处于不分胜负的状态。

你也许会对从两个竞答者到更多个竞答者的电路升级感到心里不踏实，为此，我特意给出了一个简化的 3 个竞答者的电路原理图，如图 4-94 所示。

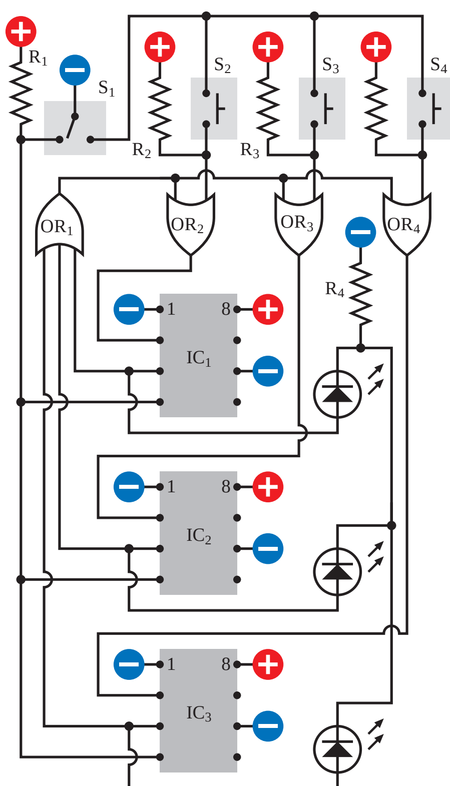


图 4-94　两个竞答者的电路原理图可以很轻松地升级到 3 个竞答者的版本（如本图所示），其前提是第一个或门能够处理 3 个输入

面包板实现

现在的任务是要建立一个尽可能接近面包板布局的电路原理图，以便你能够很容易地搭建这个电路。所要的这个原理图如图 4-95 所示，而面包板上元件的实际布置在如图 4-96 所示。由于我所使用的唯一的逻辑门就是或门，并且只用了 3 个，因此我只需要一个逻辑芯片：74HC32，它里面包含有 4 个 2 输入或门（我已经将其中第四个或门的输入接地）。该芯片左侧的两个或门承担简化电路原理图中 OR_2 和 OR_3 的功能，而芯片右下角的或门则作为 OR_1，用来接收各个 555 定时器引脚 3 发出的信号。如果你拥有所有这些器件，你应该可以很快将它们弄到一块并进行测试。

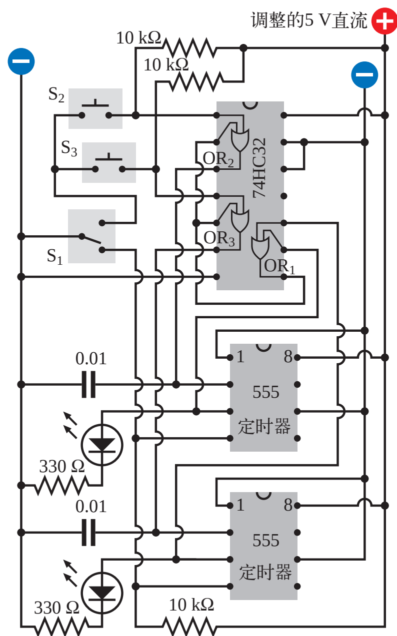


图 4-95 将简化的电路原理图搭建到面包板上时，不可避免地会遇到布线不符合直觉、看起来更为复杂的问题。不过元件间的连接其实是一样的

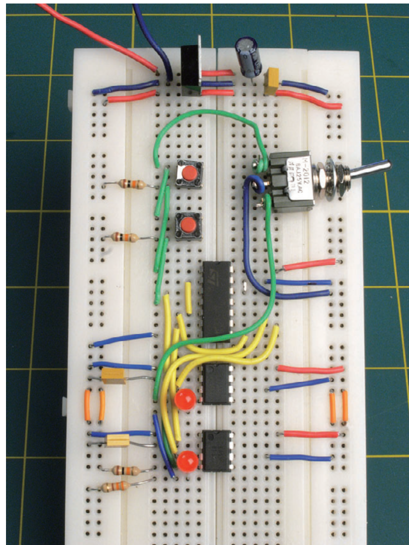


图 4-96 在面包板上搭建的竞答电路，在正式制作电路之前用来验证概念

你也许已经注意到我对前面的电路原理图做了一点修改。我在 555 定时器的引脚 2（输入）和电源负端（地）之间加了一个 0.01 μF 的电容器。为什么要这样呢？因为我对电路进行测试时发现，没有这个电容器，有时只需简单地翻转竞答主持人的开关 S_1，就会有一个甚至两个 555 定时器被触发（这时并没有任何人按下按钮。）

一开始这个问题使我感到困惑。没有任何人按下按钮，定时器为什么会被触发呢？这也许是因为定时器对竞答主持人的开关弹跳做出了反应。情况确实如此！小电容器解决了这个问题。当然电容器也会少许地降低 555 定时器的响应速度，但这不足以对慢速的人类反应产生干扰。

至于说按钮，它的弹跳不会产生什么影响，因为各个定时器会在遇到最早的一个脉冲时锁定自己，而会忽略后面跟随的任何不确定的波动。

你可以试验性地搭建这个电路，断开 0.01 μF 的电容器，来回翻转开关 S_1 十来次。如果使用的是高质量的开关，你也许不会遇到任何问题。而如果使用的是低质量的开关，那么你也许会看到许多“错误的正输出”。在下一个实验中，我将更深入地介绍“弹跳”问题，并介绍消除它的方法。

功能增强

在完成了面包板电路之后，如果你要进一步制作永久版本的话，我建议你至少应该将其扩展到可以容纳 4 个人参与竞答。这将需要一个 4 输入的或门。74HC4078 是当然之选，因为它可以有多达 8 个输入，只是需要将不用的输入接到电源的负端（地）。

此外，如果你已经有几个 74HC32 芯片，并且也不想麻烦地去订购 74HC4078，那么可以将单片 74HC32 内部的某 3 个或门组合在一起，来实现 4 输入或门的功能。请看图 4-97 所示包含 3 个或门的简单逻辑图，要记住只要有一个输入为高，或门的输出就为高。

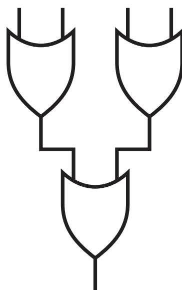


图 4-97　尽管没有制造出 4 输入或门，但我们可以轻易地将 3 个 2 输出的或门连接起来实现这个功能

在你考虑以上问题的同时，如果在同一个配置中将 3 个或门换成 3 个与门，看看你能否想出其输入和输出的关系。

对于 4 人竞答的情况，你还需要增加两个 555 定时器，当然也要增加两个 LED 和两个按钮。

至于 4 人竞答的电路原理图，我想还是留给你去完成吧。不过你应该先画出简单的版本，只在其中画出逻辑符号，然后再将其转换成面包板上的布局。我要给你的忠告是：根据我的经验，在初始阶段，使用铅笔、纸张以及橡皮要比使用电路设计软件或绘图软件来得快速。

实验 22　翻转与弹跳

在前一个实验中我曾提到，该实验电路中的按钮的“弹跳”不会引起什么问题，因为被那些按钮激活的 555 定时器是接成双稳态的（即触

发器模式）。一旦定时器接收到最先的那个脉冲，它就会翻转到其新的状态并保持在该状态，而忽略电路中任何后来的噪音。那么我们能不能用触发器来防止开关或按钮的弹跳呢？因为 74HCxx 系列中的有些芯片中包含触发器，我们能否使用它们来做这件事情呢？

以上两个问题的答案都是肯定的，但是具体做起来要比想象的复杂得多。

在这个实验中，你需要用到以下的东西。

- 74HC02 逻辑门，它包含 4 个或非门；74HC00 逻辑门，它包含 4 个与非门。数量：各 1 个。
- 单刀双掷开关，数量：1 个。
- LED，低电流的，数量：2 个。
- 10 kΩ 和 1 kΩ 的电阻器，各 2 个。

请根据图 4-98 的电路原理图，将各器件安装在面包板上。当你加上电源时（通过调整的 5 V 电源供电），其中有一个 LED 应该被点亮。

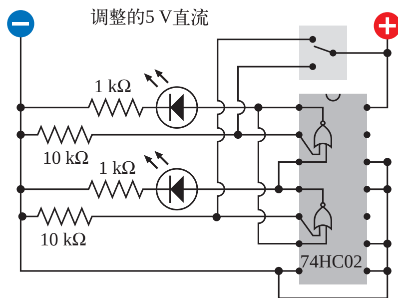


图 4-98　这个简单电路用来测试两个或非门被连接成一个简单的触发器（在输入脉冲中断之后，它应该可以保持其状态）时的行为

现在我要你做一件古怪的事情。请抓住开关的刀柱与供电电源的正端之间的连接导线，将该导线的端部从面包板上拔下来，从而断开单刀双掷开关的连接。完成这件事情之后，你也许会惊讶地发现那个 LED 仍然亮着。

将该导线插回到面包板上，翻转开关，那么第一个 LED 应该熄灭，同时另一个 LED 应该被点亮。再次拔下该导线，你会再次看到 LED 仍然保持点亮状态。

以下是需要牢记的信息。

- 触发器仅仅要求一个初始脉冲。
- 在初始脉冲之后，它将忽略自己的输入。

工作原理

两个或非门或者两个与非门都可以起到触发器的功用。

- 当你的信号是通过双掷开关过来的正电压输入时，请使用或非门。
- 当你的信号是通过双掷开关过来的负电压输入时，请使用与非门。

以上无论哪种情况，你都得使用一个双掷开关。

我已经反复提及双掷开关 3 次了（如果将这个句子也计算在内的话，实际上是 4 次），这里面有一个奇怪的原因，是大多数入门性质的书籍都没有特别强调的。当我刚开始学习电子学时，我疯狂地想弄明白，两个或非门或者两个与非门如何才能防止一个简单的单刀单掷按钮弹跳。直到最后我才发现它们根本就不能做到这一点。其原因在于，当你给电路上电时，或非门（或者与非门）需要你来告诉它们应该从哪个状态开始。它们需要一个初始的取向，这个初始取向来自于处于一个状态或者另外一个状态的（两状态的）开关，因此必须是一个双掷开关（现在我已经提过 5 次了）。

我将使用另一个简化的、多步的电路原理图（图 4-99）来说明在开关来回翻转时两个或非门中发生的变化。为了提醒你，我还附上了一个真值表来说明或非门的每一种输入组合所对应的逻辑输出。

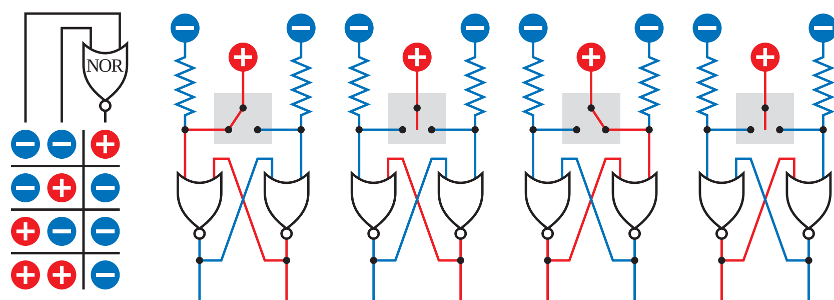


图 4-99　这一组共 4 个草图说明了由两个或非门与一个来自单刀双掷开关的正电压输入相配合所构成的触发器电路对输入做出响应的过程

假定开始时开关被翻转到左侧。这会将正向电流发送到电路的左侧，并克服下拉电阻器引起的负电压作用，因此我们肯定左侧的或非门

具有一个正的逻辑输入。由于任何正的逻辑输入都会导致或非门输出负电压（如真值表所示），而这个负的输出又是交叉连接到右侧或非门的，因此右侧的或非门就有了两个负的输入，这将使它的输出为正。这个正的输出又交叉连接回左侧的或非门。所以，在这个配置中一切都是稳定的。

现在到关键的部分了。假定你移动开关使其刀（极）未接触到任何一个触点（或者假定开关触点产生了弹跳，没有建立起良好的连接，或者假定你把开关完全断开了）。由于没有来自开关的正电压供电，左侧或非门的左侧输入在下拉电阻器的作用下从正变成了负。但这个门的右侧输入仍然是正的，这个正的输入使得这个或非门仍然能够维持负的输出，所以不会有什么改变。换句话说，电路已经“固定”在这个状态了。

现在若将开关完全翻转到右侧，给右边的或非门的右侧引脚供应正电压，快得就像闪电一样，这个或非门将辨识出自己目前有一个正的逻辑输入，因此它将改变自己的逻辑输出为负。这个负的输出又被交叉连接到另外一个或非门，使其有了两个负的输入，因此输出将变成正的，并会被送到右侧或非门的一个输入上。

这样一来，两个或非门的输出状态就发生了交换。它们的状态翻转了，并且会保持在新的状态之下，即使再次发生开关断开接触或连接被断开一类的情况也不会产生什么影响。图 4-100 所示的一组草图显示了跟图 4-99 完全相同的触发器逻辑，只不过这里采用的是由负电压供电的开关和两个与非门罢了。你可以使用本实验的购物清单中列出的 74HC00 芯片，自己去测试这个电路。

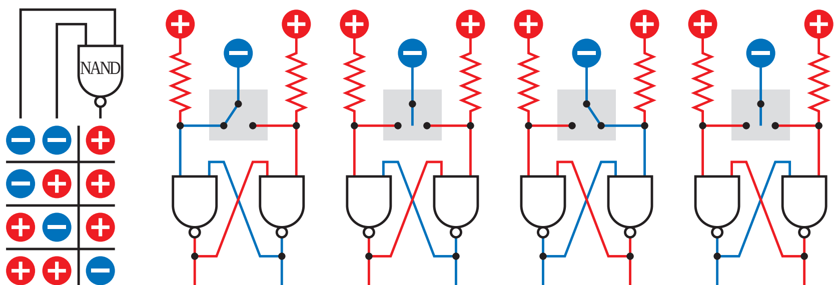


图 4-100　利用两个与非门和一个输出负电压的开关来重新搭建图 4-99 的电路原理图

以上两种配置都属于堵塞型触发器，取这个名字的原因在于其中的开关迫使触发器立即做出响应，并将其堵塞在该状态。在任何时候需要防止开关（只要是双掷开关就行）弹跳，你都可以使用这个电路。

时钟控制的触发器是更为复杂的版本，它要求你先设置每一个输入的状态，然后再提供一个时钟脉冲来使触发器响应。该脉冲必须是干净的、精确的，这就意味着如果你利用开关来提供这个脉冲，那么这个开关必须是防弹跳的——也许可以使用另外一个堵塞型的触发器来满足这一点！时钟控制的触发器需要考虑的东西太多，因此在本书中我不愿意使用它们。它们会使问题变得更复杂，这是在入门性质的课程中应该避免的。

若想防止单掷按钮或开关弹跳，那该怎么办呢？很好，你提出了一个问题！有一个解决办法，就是购买 4490“弹跳消除器”之类的专用芯片，它里面包含数字延迟电路。以 on 半导体公司生产的型号为 MC14490PG 的这种芯片为例，它包含有 6 个电路，可以处理 6 个独立的输入，每个电路内部都有一个上拉电阻器。不过它有点贵，价格是 74HC02 与门芯片的 10 倍以上。说真的，还是使用双掷开关要简单些，按照前面的介绍，双掷开关的弹跳很容易消除。

实验 23　精密的骰子

在这个实验中，我希望你使用 TTL 逻辑家族的 74LSxx 代芯片，而不要使用 CMOS 家族中的 74HCxx 代芯片，原因有两个。首先，我需要用到 7492 计数器，这个芯片在 HC 家族中是找不到的；第二，你应该了解 TTL 家族中 LS 系列芯片的基本知识，因为它们仍然时常会出现在你所遇到的一些电子学书籍以及网上的一些电路中。

此外，你将要学习像 74LS06 反相器这样的“开路集电极”的 TTL 芯片，在你想要输出高达 40 mA 的电流的时候，它们可以方便地用来替代晶体管。

本实验项目的电路极其简单：利用一个 555 定时器来产生极快的脉冲，再由一个计数器来对该脉冲进行六进制的计数，以驱动按一定方式排列的 LED 来模拟骰子上的点。计数器计数的速度很快，骰子上的点是模糊不清的。当使用者按下按钮时，计数器立即停止计数，显示出一

个不可预知的骰子点数的图案。

骰子仿真已经出现很多年了，你甚至可以在网上买到相应的套件。不过我们这个实验电路的功能更多，它还可以用来展示二进制码的原理。

好啦，如果你已经准备好面对 TTL 芯片、开路集电极以及二进制这三重挑战，那么就让我们继续吧。

以下是你需要用到的东西。

- 74LS92 计数器，例如德州仪器公司生产的 SN74LS92N，数量：1 个（如果你想制作一个骰子），或者 2 个（如果想制作两个骰子）。
- 74LS27 三输入或非门，例如德州仪器公司生产的 SN74LS27N，数量：1 个。
- 555 定时器，数量：1 个（如果你想制作一个骰子）或者 2 个（如果想制作两个骰子）。
- 信号二极管，1N4148 或类似的，数量：4 个或 8 个（想制作两个骰子时）。

观看二进制

我们以前使用过的计数器比较特别，其输出是专门用来驱动七段数码管的。更为普通的计数器的输出是按二进制来进行计数的。

74LS92 的引脚功能如图 4-101 所示。将其插在你的面包板上，按图

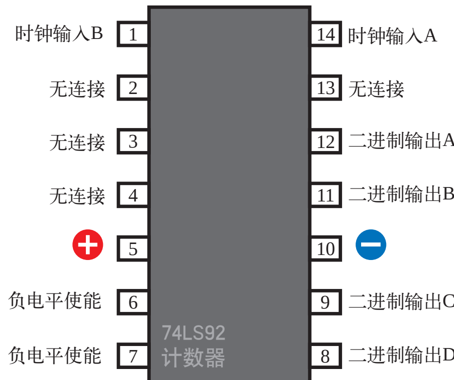


图 4-101　74LS92 计数器芯片不仅引脚的布局很特别，而且它还有 4 个引脚在内部没有任何连接，因此在外部也可以不予连接

4-102 那样进行接线。开始的时候，555 定时器将驱动计数器缓慢计数，大约每秒一步。图 4-103 所示为面包板上器件的实际布置情况。

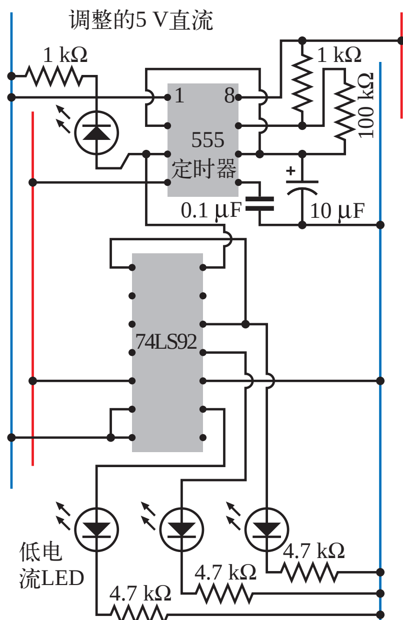


图 4-102　这个简单电路使用慢速运行的 555 定时器来控制 74LS92 二进制计数器，并对输出的高电平进行实时显示

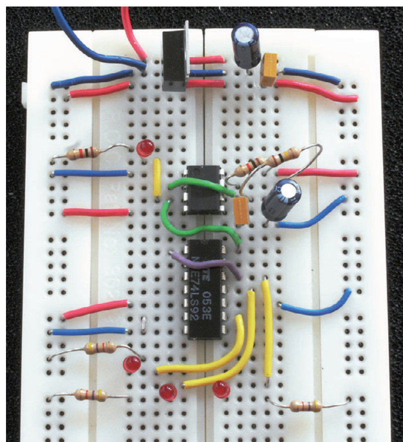


图 4-103　这是图 4-102 所示电路原理图的面包板实现，用来显示 74LS92 计数器的输出

请注意，这个计数器的电源引脚比较特别，是在引脚 5 和引脚 10 上，而不是位于角落处。此外，它还有 4 个引脚完全未被使用，在芯片内部没有连接到任何地方。因此，在外部你也无需将它们连接到任何导线上。

现在我要来介绍 TTL 家族的 74LSxx 代芯片的第一个全新的、会给应用带来困难的特点，对于我们的用途来讲，这个特点使得它们不如我在前一个实验项目中推荐的 CMOS 家族中的 74HCxx 代芯片那么受人欢迎。现代已经得到广泛应用的 HC 系列芯片的每个逻辑输出，都会提供或者吸收 4 mA 的电流。但是较老的 LS 代芯片却很特别，它的输出在低电平时可以从正电源吸收大约 8 mA 的电流，但是当其输出为高电平时，却几乎不会给你提供任何电流。其基本原则是这样的。

❒ TTL 逻辑芯片的输出是专为吸收电流而设计的。

❒ 其在设计上没有能力输出显著的电流。

实际上，74LS92 的额定输出电流不到 0.5 mA。如果你仅仅是将其输出连接到另外一个逻辑芯片，这完全是可以接受的，但是当你希望驱动一个外部设备时，它却不能提供足够的电流来满足需要。

解决这个问题的正确做法是对这个芯片说：“好的，我们将按你的方式行事。”然后先把正电源接到一个负载电阻器上，再在负载电阻器的后面串联你想要使用的 LED，最后再连接到芯片的输出端上。这是一个“较好”的选择，如图 4-104 所示。

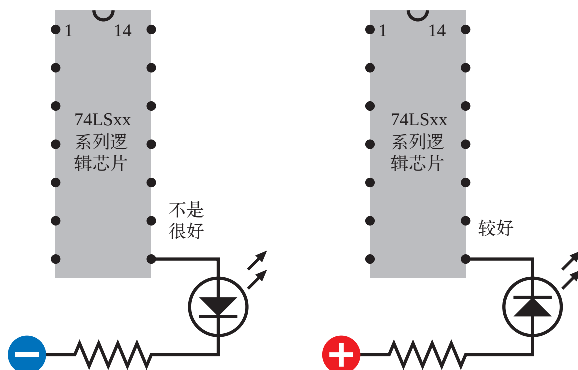


图 4-104 大多数 TTL 芯片（包括 LS 代芯片）没有能力从它们的逻辑输出引脚输出足够的电流（左图），因此通常需要被连接成从正电源吸收电流的形式（右图）

但现在的唯一问题就是，LED 是在计数器的输出为低时才发光，但计数器的设计本意是输出高电平脉冲来点亮数字的。因此现在你的 LED 在该亮的时候不亮，而在不该亮的时候却亮着。

你可以让信号通过一个反相器来解决这个问题，但是我已经对这种不方便厌烦了。我解决这个问题的方法（至少为演示目的我是这样做的）是使用图 4-104 所示的“不怎么好的”方案，让一个极低电流的 LED 和一个 4K7 的大负载电阻器相串联，终于使其工作起来了。这使得我们可以“看到”计数器的输出，而它的输出电流却没有必要超过它的额定值。当然，如果你想让最终版的骰子电路达到更加强劲的视觉效果，就需要选择后一个方案。我用万用表测到 4K7 的电阻器中的电流在 0.3 mA 到 0.4 mA 之间，这是计数器的额定最大电流。

请按照图 4-102 和图 4-103 搭建初始版本的电路。由于计数器的引脚布置是非标准的，因此你必须小心连接其正负供电电源。

555 定时器将工作在非稳态模式，大约每秒输出一个脉冲。这个输出脉冲被用作计数器的时钟信号。而计数器输出的前三位则用来驱动 3 个 LED。

当输入信号从高变到低时，计数器的计数就加 1。因此当 555 定时器旁边的 LED 熄灭时，就是计数器加 1 的时候。

如果你紧盯着由输出产生的 LED 灯光构成的图案足够长的时间，你也许可以看出其中的逻辑关系，不过你要记住，其零状态对应于 LED 全部熄灭的状态，若再往上数 5 步的话，就会从头重来。图 4-105 的示意图显示一步步数下来的各个状态。如果你想弄明白这个图案为何会是这个样子，请看“理论知识：二进制算术”。

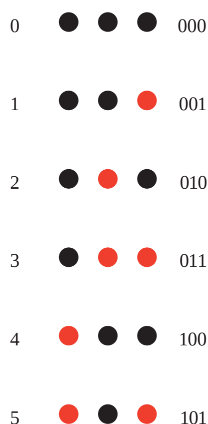


图 4-105　按照二进制计数法，当计数器从 000 往上计数到 101 时，每一步中 74LS92 计数器的 3 个输出引脚的电平高、低情况所构成的图案（以红色圆圈表示高电平输出，以黑色圆圈表示低电平输出）

理论知识

二进制算术

二进制计数法只是我们日常使用的计数法的一个变种，不过我们兴许对日常使用的计数法缺少思考。在十进制的系统中，我们从 0 开始数到 9，再往左边的下一个位置进位“1”，然后最右边的位置又重新从 0 到 9 开始计数。我们重复这个过程直到 99，然后往一个新的位置进位“1”，得到 100，再继续计数。

在二进制中，我们干的是同一件事情，所不同的是我们将自己限制在 0 和 1 这两个数字。因此在最右边的位置上从 0 开始，计数到 1。由于 1 是极限，为了继续计数，我们就往左边的下一个位置进位“1”，然后最右边的位置又重新从 0 开始计数。计数到 1 时，再往左边的下一个位置加 1，但是，这个位置原来已经有一个 1 了，

它也就不能再往更高的数字计数了。因此，就会从这里往旁边的下一个位置进位“1”，依次类推。

如果发光的 LED 代表 1，熄灭的 LED 代表 0，那么图 4-105 中的图案就以无与伦比的方式，表示出了 74LS92 计数器从 0 开始计数到 5（十进制时）或 101（二进制）的过程。我在图 4-106 给出另一个图案（它同样用 LED 的亮和灭来代表 1 和 0），该图案可以说明一个有着 4 位二进制输出的计数器是如何从 0 计数到十进制的 15 的。

我现在有一个问题想要问你：需要多少个 LED 才能将十进制数 1024 表示成二进制数？若要表示 1023 的话，又需要多少个 LED？

显而易见，二进制码非常适合于完全由只有高、低两种状态的逻辑器件构成的机器。这正是所有的数字计算机都使用二进制算术的原因（计算机会将二进制转换成十进制，但这仅仅是为了迎合人类的口味）。

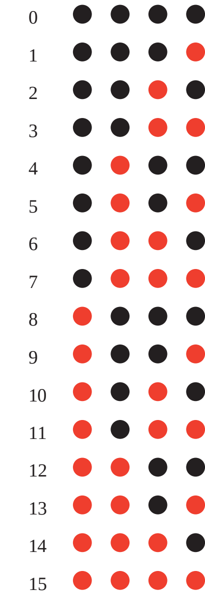


图 4-106 一个十六进制（基于 16 的倍数）的二进制计数器在从 0 开始计数到十进制的 15 时，其 4 个输出引脚的高、低电平状态变化所构成的图案（红圈表示高电平输出）

现在回到我们的实验项目：我希望得到这 3 个二进制的输出，用它们来产生类似骰子上的斑点那样的图案。怎么才能做到这一点呢？看了以下内容之后，你就会明白这其实很容易。

我假定用 7 个 LED 来模仿骰子上斑点构成的图案。这些图案可以被分解成小的分组，在图 4-107 中，我已经将这些分组分配给了计数器的 3 个输出。第一个输出（最右边的那个输出）可以用来驱动中央的那个 LED（代表骰子面中心的点）。第二个输出（中间的那个输出）可以用来驱动对角线上的另外两个 LED。第三个输出则必须点亮 4 个角上的所有 LED。

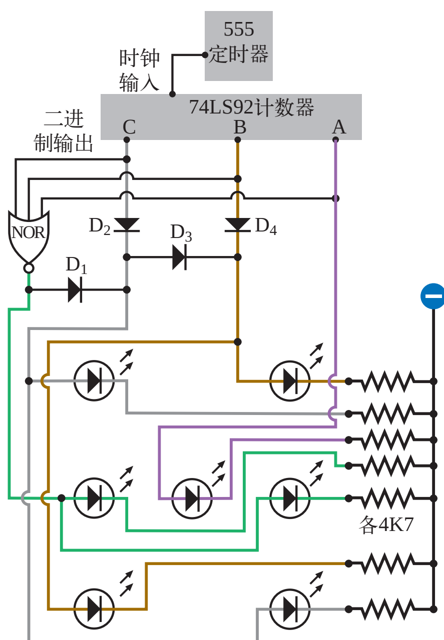


图 4-107 这个简化的电路原理图显示了如何将 74LS92 计数器的输出与信号二极管以及一个三输入的或非门组合，来产生骰子上斑点的图案。图中着色的导线并无特殊的含义，仅仅是为了便于将它们从其他导线中区分出来

以上的方案对于图案 1 到图案 5 都是可行的，但却无法点亮骰子上的 6 这个图案。假定我们将计数器的 3 个输出连接到一个具有 3 个输入的或非门上。那么仅当它的 3 个输入都为低时，其输出才为高，也就是说，只有当计数器的输出全部为低的时候，它才发出一个高电平输出。我们可以利用这一点来实现 6 这个图案。

请注意，将 LS 代的 TTL 芯片与 HC 代的 CMOS 芯片混在一起使用是一个很坏的习惯，因为它们的输入和输出范围不同。所以我们的或非门必须使用 74LS27，而不能使用 74HC27。

这样我们就有了一个简单的电路原理图，如图 4-108 所示。在该图中，我给某些导线加了颜色，其目的只是为了让你更方便地辨识这些导线，这些颜色并无特别的含义。

各个 LED 都通过一个单独的 4K7 的负载电阻器接地。遗憾的是，这意味着在显示 6 的图案时，它们都是并联工作在或非门的输出上的，这将使它过载。不过只要你不让这个模式的显示时间过长，应该不会引

起什么问题。你可以通过增大负载电阻来进行补偿，也可以让多个 LED 共用一个电阻器，但这将导致它们发光过于黯淡而难以看清，因为负载电流已经太接近它们的电流下限了。

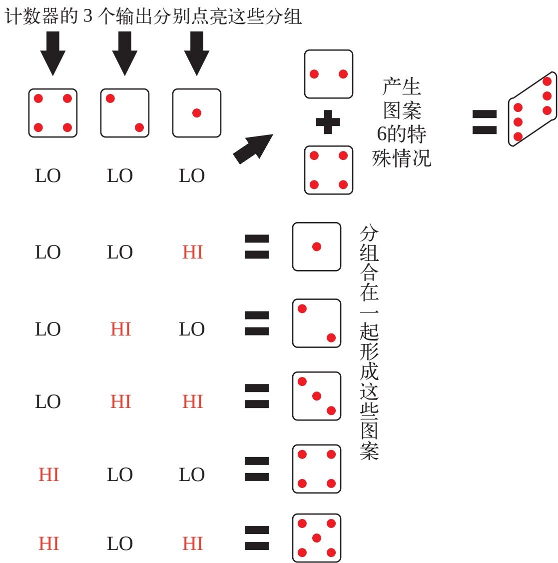


图 4-108 74LS92 计数器的二进制输出可以用来驱动分组的 LED 阵列，以模仿骰子上的斑点图案

请注意我是如何添加 D_1 ～ D_4 这 4 个信号二极管的。当输出 C 变高时，它必须点亮角落上的所有 4 个 LED，因此其输出电流会通过褐色以及灰色的导线。但是我们必须阻止一个输出回馈到另一个输出，因此在输出 C 为高时，需要使用 D_4 来保护输出 B。

现在由于在 B 和 C 之间存在着连接，因此在输出 B 为高时，我们就需要 D_2 来保护输出 C。又由于必须保证输出 B 只给角落上的两个 LED 供电，所以我们也需要 D_3 来阻止它去点亮角落上的另外两个 LED。此外，在输出 C 或者输出 B 为高时，我们必须保护或非门的输出，这就需要用到 D_1。

图 4-109 以面包板布局的格式给出了上面描述的所有电路细节，而图 4-110 给出的则是我搭建的测试版本的电路。请注意 74LS27 芯片上未用的逻辑输入全部被短接在一起并连接到了电源的正端。以下是一些规则。

- ❒ 当使用 CMOS 芯片时（譬如 HC 系列），应将未用的逻辑输入连接到电源的负端。
- ❒ 当使用 TTL 芯片时（譬如 LS 系列），应该将未用的逻辑输入连接到电源的正端。

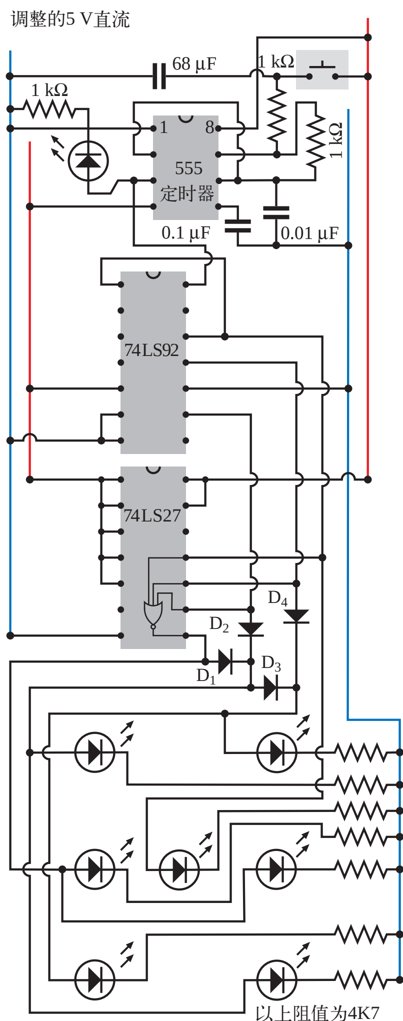


图 4-109　在多添加了一些器件以后，图 4-102 和图 4-108 中的电路原理图就可以组合成这个能够工作的骰子模拟电路

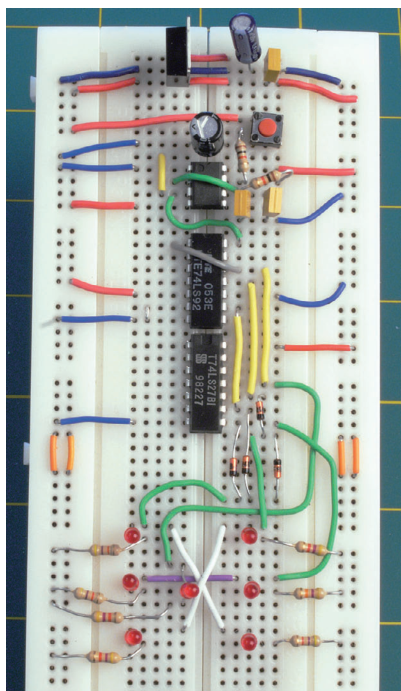


图 4-110　面包板上搭建的电子骰子电路，其中上部的按钮用来启动和停止计数器，底部的 7 个 LED 用来显示输出

我假定你已经玩够了观察 LED 缓慢计数的游戏，因此我现在改变了 555 定时器的电容器和电阻器的参数值，以使其速度从每秒大约 1 个脉冲增加到每秒大约 50 000 个脉冲。这个计数器有能力跑得更快，但我的目的只是希望它循环得足够快，当用户按下并释放按钮的时候，计数能够停止在一个不可预测的数值就可以了。

按钮的作用仅仅是通过给定时电路供电和断电来启动和停止 555 定时器。这跟摇动并抛出骰子的做法是等效的。

当计数器运行很快时，LED 闪光的速度就会快得好像它们全部是同时点亮的。与此同时，电路给一个我新添加在按钮和地之间的 68 μF 的电容器充电。当你释放按钮时，这个电容器通过一个 1 kΩ 的定时电阻器放电。随着电荷的耗散，定时电容器将花费越来越长的时间进行充电和放电，因此 555 定时器的频率将逐渐地减慢下来。结果，LED 闪光的速度也将变慢下来，就像拉斯维加斯老虎机的转盘慢慢地停下来一样。这增加了玩这个模拟骰子的紧张程度，因为玩家可以看到骰子显示的计数朝着他们期望的数字前进——当然也可能会多走一步而超过他们期望的数字。

请注意，为了达到最大效果，按钮按下的时间至少应该有整整 1 s 甚至更长，这样在按钮释放之前 68 μF 的电容器才能够充满电。

好啦，这个电路已经达到了最初的目标。不过它能不能被改得更好呢？当然可以！

功能增强

我想改进的主要性能是 LED 的显示亮度。我可以给每个 LED 增加一个晶体管来放大其电流，但是这里有个更简单的选择：采用 TTL“开集电极”反相器。

我想使用反相器的原因在于，在 TTL 的世界里，如我以前提及的那样，我们可以往芯片的输入引脚中输入相当大的电流，但是能够从其中引出的电流却十分微小。因此，我将把每个 LED 转一个方向，将它们的负载电阻连到电源的正端上。这样一来，LED 的电流就可以由反相器的输出端来吸收。

反相器芯片的“开路集电极”版本的最大优势在于它吸收电流的

能力要比普通的 TTL 逻辑芯片大得多。其每个引脚的额定值是 40 mA。其唯一的缺点是根本不能发出任何的电流，在输出为高的状态下，它的行为就像一个开路的开关一样。不过这对于我们的电路来讲不会引起什么问题。

所以本实验项目的下一个也是最后一个电路原理图（图 4-111）中包含了 74LS06 反相器，这些反相器也添加到了在面包板上搭建的电路里，如图 4-112 所示。我建议你将这些小的低电流 LED 放在一边，代之以一些标准尺寸的 LED。使用今台电子公司型号为 WP15031D 的 5 mm“标准”LED 时，我发现在串联 120 Ω 的电阻器时每个 LED 的压降大约为 2 V，通过的电流几乎刚好为 20 mA。由于 74LS06 反相器的每个输出引脚每次接通的 LED 不超过两个，因此正好在其额定范围之内。我建议在你搭建这个电路时，要检查你自己选定的 LED 的电流消耗，如果有必要的话，要调整电阻器。

请记住：为了测量 LED 上的电压降，只需简单地将万用表的探针跨接在发光的 LED 的两端。而为了测量其电流，则需要断开 LED 的某一侧，并在 LED 的引脚与电路中 LED 的正常连接点之间

图 4-111　如果在骰子电路中添加开路集电极的反相器，它就可以以高达 40 mA 的电流来驱动全尺寸的 LED，但前提是必须将 LED 调个头，让 TTL 的输出级来吸收电流，而不是让其来发出电流

接入处于毫安模式的万用表。

为了真正获得戏剧性的效果，你可以找一些直径 1 cm 的 LED（图 4-113）。检查其参数，你会发现，许多这样的 LED 所消耗的电流并不比通常的 5 mm 的 LED 多。不管使用何种 LED，都不要忘记将它们调个头，让其负的一侧面对反相器，正的一侧面对连接在电源正端的电阻器。

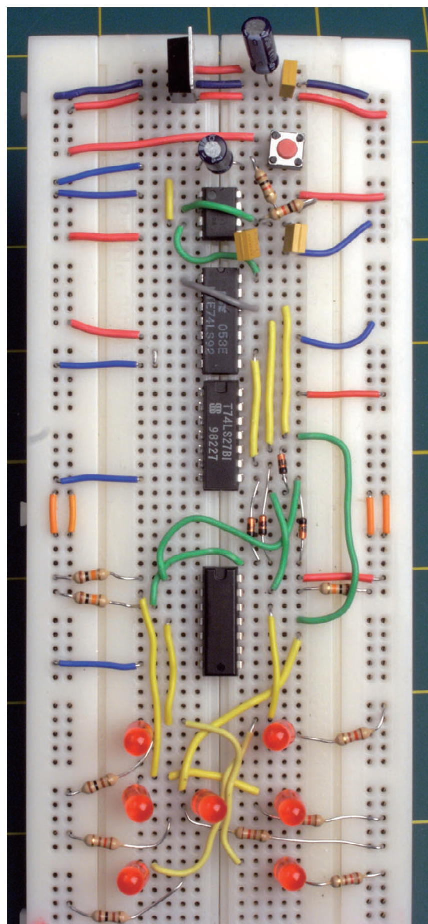


图 4-112　面包板上搭建的电路，它利用开路集电极的反相器来驱动大个头的 LED[①]

最后一个细节：我不得不在这个版本的电路中添加两个 10 kΩ 的电阻器。你能想到其中的原因吗？D_1 到 D_4 的二极管是用来在恰当的时候往反相器传输正电压的，而在计数器的输出为低时，它们则起着阻止反相器的输入端“看到”电源负端的作用。这些反相器的输入端需要下拉电阻器来防止自己“浮位”和产生错误的结果。

增加其他的功能取决于你的需要。最可能的是，你可以增加第二个骰子，因为许多游戏都要求两个骰子。74LS27 芯片中还有两个或非门没有使用，你可以使用其中一个，但你还需要添加一个 555 定时器，它必须运行在明显不同的速度之下，以确保随机性，此外还需要可供驱动的第二个计数器。

① 图 4-111 和图 4-112 之间有少许差异。a. 面包板照片上，74LS06 的引脚 1 和电源负端之间接有一个 10 kΩ 的电阻器，它用于防止反相器的输入“浮位”，我们希望有它，但没有也应该可以得到结果；b. 在电路原理图中，有些未用的引脚与电源正端之间有连线，而在面包板实现中没有，这对结果不会有大的影响。——译者注

搭建好自己的骰子并能够运行之后，你也许想要测试一下它的随机性。由于来自 555 定时器的脉冲是等长度的，因此每个数字有同等的机会出现；但是你按下启动按钮的时间越长，你真正随机地中断计数过程的可能性就越大。任何使用你的电子骰子的人都应该被告知，“摇动”骰子的时间必须满 1 s 是一个强制规定。

当然，我也可以通过写几行软件代码来在屏幕上产生随机数，从而更加容易地模仿骰子，但是即使是奇特的屏幕图像也不可能达到制造良好的硬件的同样效果。图 4-113 显示了白色 1 cm 的 LED 安装在磨砂的聚碳酸脂外壳中以产生戏剧性效果。

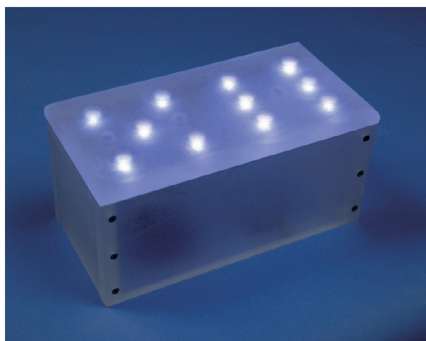


图 4-113　在骰子电路中，开路集电极的反相器芯片相当强大，足以驱动 1 cm 的白色 LED（每个这种 LED 消耗大约 20 mA 的电流，产生 2 V 的电压降）。在这个最终的版本中，LED 嵌在 0.5 in 厚的聚碳酸脂板下方钻出的孔中，而该聚碳酸脂板则经过轨道磨砂机的处理，以产生半透明的抛光效果

最重要的是，通过使用简单的、专用的芯片来展示每台计算机中都需要用到的二进制算术，我得到了满足。

实验 24　完成了的侵入报警器

现在让我给你一些建议，教你如何应用本章的知识对实验 15 中做过最后改进的那个防盗报警器项目进行升级。你也许需要回顾第 2 章和第 3 章的内容，以便重新熟悉报警器的某些功能。

升级 1　延迟激活

实验 15 中完成的报警器的最大缺点是一旦被激活，它将立即对来

自门窗传感器的任何信号做出反应。它需要一个功能来延迟激活，以便在报警器武装自己之前给你机会离开房子。利用一个 555 定时器可以实现这个功能，但需要和一个继电器配合使用。报警器的电源应该通过继电器的常闭触点。当你按下定时器上的一个按钮时，它往继电器发送一个持续大约 30 s 的脉冲，使继电器在该时段内保持断开状态。你可以将这个定时器安装在单独的小盒子里，按钮则安装在盒子的上面，当你离开房子时就按下这个按钮。给防盗报警器供电的 12 V 电源从安装了延时电路的盒子中通过。555 定时器会中断报警器电源 30 s 的时间，然后再恢复供电，使其准备报警。

升级 2 键盘失活

这个功能现在真的是很简单了。你可以用一个闩锁继电器来代替报警器盒子中的开关 S_1（见图 3-110），并用一个小键盘来设置和复位该继电器，具体的方法跟实验 20 中组合锁的方法完全一样。你必须另外再从继电器中接出 3 根导线，从报警器盒子接到小键盘上（其中一根用来给继电器的 on 线圈供电，另一根用来给 off 线圈供电，第三根则作为共同的地线）。你既可以用一个 9 V 的电池来给小键盘相关的电子电路供电，也可以从报警器盒子中接出另外的第四根导线来给逻辑芯片提供正电源，只是要记住必须在某个地方插入一个调压器，将报警器使用的 12 V 电压降低为逻辑门所需要的 5 V 电压。由于逻辑门消耗的电力如此之小，由调压器来完成 12 V 到 5 V 的降低应该不会有什么问题，它不会发出太多的热量。

有了这个附加的功能，你就可以按以下的方式来使用报警器。

- 按下小键盘上的英磅键来使闩锁继电器翻转到其 on 状态，以便将电源输给报警器盒子，使其处于准备报警状态。
- 如果你准备离开房子，按下延迟单元上的按钮，为你提供 30 s 的时间离开。
- 如果报警器被触发，你可以在小键盘上输入秘密代码来使闩锁继电器翻转到其 off 位置，并切断报警器盒子的供电。

这些修改是如此简单，因此我认为图 4-114 中的方块图就可以满足你的所有需要，不必再提供任何的电路原理图。你必须对原有报警器做的唯一改变就是用闩锁继电器来代替 on/off 开关。

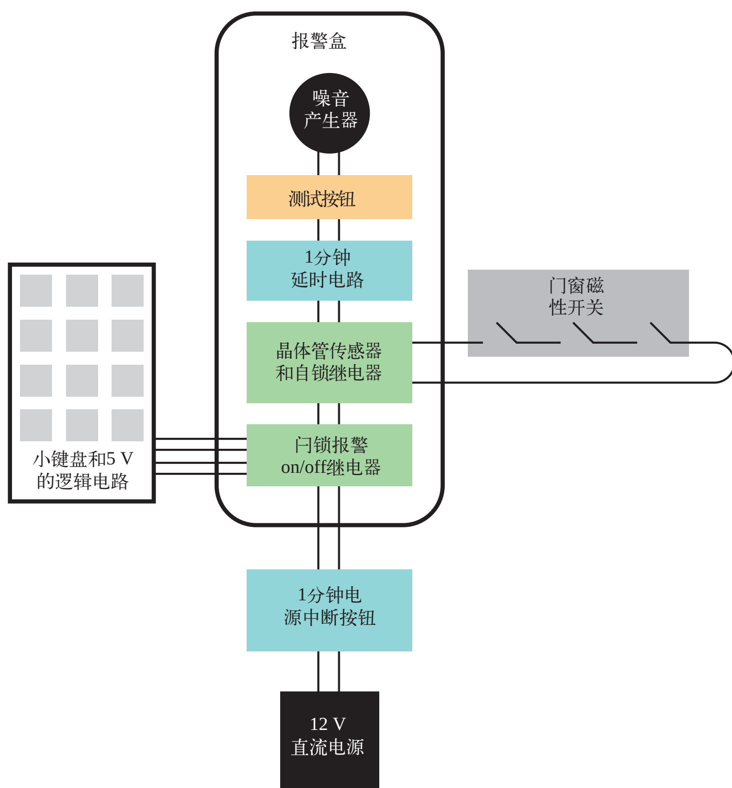


图 4-114　这个方块图显示了新老电路中各部分之间的相对位置关系。电源中断按钮（在报警器合上之前使你有时间离开房子）位于电源和其他所有东西之间。闩锁继电器代替了老版本报警器中的双刀双掷开关。连接到门窗磁性开关的晶体管和自锁继电器则保持不变。新添加的延时电路插放在自锁继电器和噪音产生器之间。测试按钮与闩锁继电器的连接跟其以前与双刀双掷开关的连接相同

不过，显然还有一个必须的功能增强，就是如何在你才能返回家里时不立马触发报警器呢？

升级 3　失活前延时

一般来讲，报警器还应该包括另外一个延迟功能。当你开门回家时，就会触发报警器，在开始产生噪音之前，应该给你留 30 s 的时间来使报警器失效。

我们如何才能实现这个延时特征呢？如果想用另外一个 555 定时器产生脉冲来阻止噪音，那是不会成功的，因为无论是晶体管的输出还是

继电器的输出都能够无限地继续下去。继电器是自锁的，而晶体管则只要有人将门打开就会连续地让电压通过。如果用这两个信号中的任何一个去激活一个处于单稳态的定时器，那么从定时器发出的脉冲就将永不完结，这将永久地抑制报警器。

我认为我们应该用一个电阻器和一个电容器来产生延时。我将通过现有的继电器来给它们供电，以确保它们的电压能够从 0 开始达到电源的满电压。电容器将逐渐获得电压——但是我不能直接将这个电压连接到噪音产生器上，因为噪音将随着电压的增加逐渐地变大。

我必须插入一个器件，在输入高过了某个点时，使之触发而输出满电压。为此，我将使用一个连接成双稳态的 555 定时器。这种修改使用了惯常的“拼凑”手法，它既不精致，又使用了太多的器件，而且对这些器件的使用也不得当。我真正需要的是一个比较器，但是我没有足够的篇幅来深入讲解这一个主题了。所以，在图 4-115 的电路原理图中，以你目前已经掌握的知识为基础，给报警器添加了一个延时——它虽然不够精致，但是却很可靠。

其唯一的问题在于，在你给一个处于双稳态的 555 定时器加电时，定时器启动时产生高电压输出和低电压输出的机会为一半对一半。因此我需要将复位引脚拉到低电压（以便在启动定时器时禁止其输出），并逐渐让其变正（以允许输出）。与此同时，我希望触发引脚开始时的电压应该为高，并且逐渐降低，直到降低到供电电压的 1/3 并触发输出。

所以这里有两个定时电路。复位引脚的定时电路应该比触发引脚的定时电路工作得快，以便定时器被触发时，不会因复位而停止。

图 4-115 的电路原理图中显示的元件参数可以达到以上要求。10 μF 的电容器从低电压开始通过一个 10 kΩ 的电阻器充电，充电时间在数秒之内。然后定时器就可以触发了。而 68 μF 的电容器是从高电压（它连接在电源的正端）开始通过 1 MΩ 的电阻器放电的，经过整整一分钟后，才能被拉低到 1/3 的电源电压。这时，它的电压已经够低，可以触发 555 定时器。然后定时器的输出变高，给噪音产生电路供电。

你应该能够很轻松地将这个小小的延时模块插入你的报警器盒子中，接在继电器的输出与噪音产生器的输入之间。如果你想要调整延时，只需使用阻值比 1 MΩ 高或者低的电阻器就可以了。

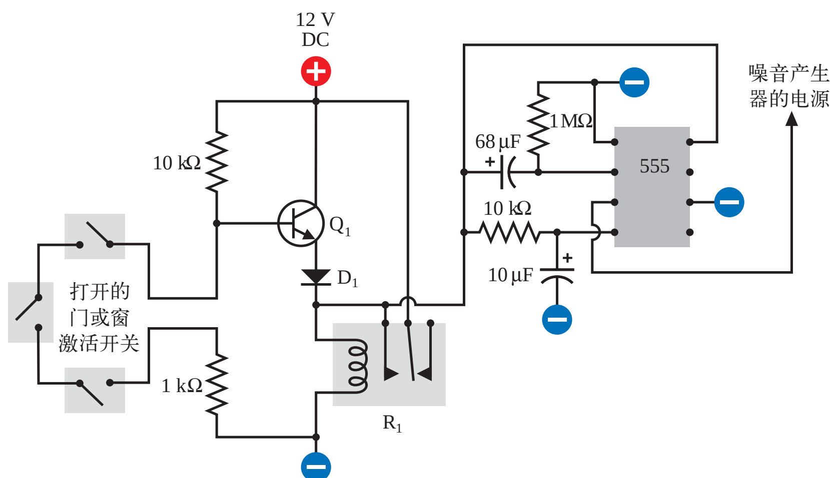


图 4-115　在原来的报警电路中新添加的这个模块将在发出报警声之前有 1 分钟的延时。（接成双稳态的）555 定时器通过继电器 R_1 接收电源。下方的定时电路在开始时给复位引脚施加负电压，以确保 555 定时器在输出被抑制的情况下加电。这个电压会很快上升。与此同时，上方的定时电路随着 68 μF 的电容器通过 1 MΩ 的电阻器放电，而将一个逐渐降低的电压施加在触发引脚上。当该电压降低到供电电压的 1/3 时，定时器的输出变高，从而启动噪音产生器。如果电路的供电在此之前的任何时候被中断，则继电器释放，电容器逐渐放电，报警器就不会发出噪音报警

总结

如果你添加了所有这 3 个功能，那么你的报警器就拥有了我最初的愿望清单中的所有功能。当然，如果是以本书这一章添加的所有信息为基础，从头来进行报警器的设计的话，那应该可以得到更为精致的电路。不过我们的修改并没有对最初的项目产生结构性的改变，却实现了所有的设计目标。

第 5 章　接下来做什么

本章内容

- 购物清单（实验 25 到实验 36）
- 定制你的工作区
- 参考资源
- 实验 25　磁性
- 实验 26　桌面上的发电系统
- 实验 27　喇叭拆解
- 实验 28　让线圈起来反抗
- 实验 29　滤掉某些频率分量
- 实验 30　哑音器
- 实验 31　无电源、无焊接的收音机
- 实验 32　机器人小车
- 实验 33　一步步地移动
- 实验 34　硬件遭遇软件
- 实验 35　检测真实的世界
- 实验 36　改进版的锁

学习到这里，我们可以向许多不同的方向延伸。以下是一些可能的选择。

音响电子学

就其本身而言，这就是个单独的领域，它包含很多的电子学爱好者实验项目，例如简单的放大器和“脚踏盒”，用来调整吉他的声音效果。

无线电设备

任何接收或发送无线电波的设备，从超级简单的 AM 收音机到遥控器，都是无线电设备。

电机

机器人这个领域促使越来越多的在线网站涌现出来，它们出售步进电机、齿轮减速电机、同步电机、伺服电机等许多种电机。

可编程微控制器

这是单芯片微型计算机。你在台式计算机上编写一个小程序，它将告诉这些芯片要遵从一系列的步骤行事，例如从一个传感器接收输

入，等待固定的时长，向一个电机发送输出。然后你将程序下载到芯片上，它将把该程序保存在非易失性的存储体中。常用的控制器包括 PICAXE、BASIC Stamp、Arduino 以及其他许多牌子的产品。最便宜的控制器的零售价每片只有 5 美元。

显然，我没有足够的篇幅来对以上的每一个主题都进行完整、充分的介绍，因此我要做的是对每一个类型都介绍一或两个项目，以便带你入门。你可以自己确定到底哪个主题是你最感兴趣的，然后深入追踪到本书以外专门针对相应主题的读物进行阅读。

我也将针对如何搭建高效率的工作区，如何阅读相关的书籍、产品目录及其他印刷资料，以及作为一个业余爱好者如何更进一步地在电子学中进行一般性的探索，提供一些自己的建议。

购物清单（实验 25 到实验 36）

工具

本书这一部分无需任何新的工具。

备用品与元件

由于我们已经达到了你可以自己选择实验项目来进行尝试的阶段，因此我将把备用品与元件列在每个实验的开头处。

定制你的工作区

现在，如果你已经对搭建硬件的乐趣越来越享受，却还没有给你的新爱好分配一块永久性角落的话，那么我就要给你一些建议了。在过去数年中，我已经尝试了许多不同的方案，我的主要建议就是：不要建立工作台。

许多专为业余电子爱好者写的书要求你购买截面为 2 in×4 in 的方木以及胶合板，好像工作台必须量身定做，以满足尺寸和形状上的严格要求。我对此感到困惑。对我来讲，桌子的精确尺寸和形状并不重要。我认为最为重要的应该是储藏库。

我希望工具和元件容易够到，不管它们是小小的晶体管还是大捆的

导线。我肯定不愿意在储藏架上翻来翻去，又要爬梯子，又要从房间的一个地方走到另一个地方。如图 5-1 所示。

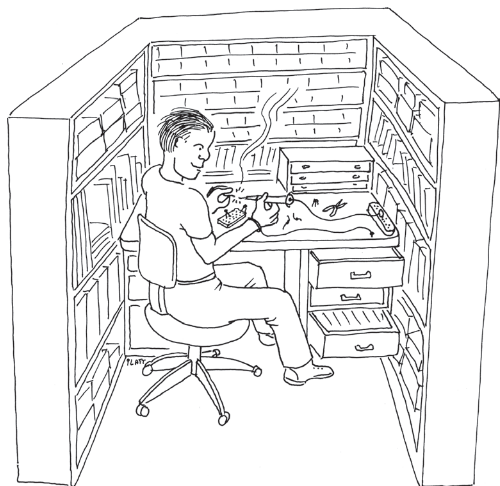


图 5-1　理想的工作区。由储藏库环绕。你再也不必离开你的椅子

这使我得出了两点结论。

(1) 你需要有高于工作台的储藏库。

(2) 你需要有低于工作台的储藏库。

许多自己动手制作工作台的方案只允许很少甚至于根本不允许在桌面的下方储藏东西。有的方案则建议你使用开放式的储藏架，而这很容易落上灰尘。我的最小配置是使用一对各有两个抽屉的文件柜，并在它们的上面跨置一块 0.75 in 厚度的胶合板或外包胶木的厨房工作台。文件柜不仅可以储存文件，它也是储存任何其他东西的理想选择。

在我使用过的所有工作台中，我最喜欢的是一个老式的钢制办公桌——可以追溯到 20 世纪 50 年代的那种巨大型的办公桌。它们不易移动（因为很重），看起来也不漂亮，但是你可以从二手办公家具经销商处低价买到，它们的尺寸很大，经得起大量使用，可以说是经久耐用。其抽屉很深，往往能够平滑地滑进滑出，就跟性能良好的文件柜的抽屉一样。其最好的地方是，桌子所用的钢料很多，在你接触对静电敏感的器件之前，可以用它来给自己接地。如果你使用防静电腕带的话，你可以在桌子的一角上嵌入一枚钢板螺钉，然后简单地将腕带接在钢板螺钉上。

在很深的抽屉或文件柜中，你会放置什么东西呢？可能对有些文档类的东西十分有用，这也许包括以下的文件：

- 产品参数说明书；
- 器件目录；
- 你自己绘制的草图和计划。

每个抽屉的剩余空间可以用来放置塑料储藏盒。盒子里面可以装不怎么常用的工具（例如热风枪或高功率烙铁）和大尺寸的元件（例如扬声器、交流适配器、项目盒及电路板）。你应该寻找那种大约 11 in 长、8 in 宽、5 in 深、具有直边的储藏盒。沃尔玛店卖的那种盒子往往比较便宜，但是它们的边角往往有渐细的锥度，空间利用率不高。

我最喜欢的盒子是 Akro-Mils 公司制造的 Akro-Grids 栅格盒子（见图 5-2 和图 5-3）。这些盒子十分坚固，边是直的，还有可选的透明咬合盖子。你可以先从 http://www.akro-mils.com 下载 Akro-Mils 公司的整个产品目录，然后再在网上寻找零售供应商。你会发现 Akro-Mils 公司也有种类繁多的元件储存斗出售，但是我不喜欢开口的储存斗，因为放在里面的东西容易积累灰尘和污物。



图 5-2 Akro-Grid 栅格盒子上面有垄沟，因此可以分隔成许多的小室，便于元件的储存



图 5-3 Akro-Grid 栅格盒子的盖子是单独卖的，它可以使里面的元件免受灰尘的侵害。在一般的文件柜的抽屉中，图 5-2 所示盒子的高度足以叠放 3 层，而本图中的盒子应该可以叠放两层

对于中等尺寸的元件，例如电位器、电源接头、控制按钮、拨动开关等，我喜欢将它们存放在大约 11 in 长、8 in 宽、2 in 深、分为 4 ～ 6 个部分的储存容器中。你可以从 Michaels（手工艺品商店）购买到，不过我更喜欢从网店在线购买 Plano 牌的，因为这种牌子的储存容器在结构上似乎更为坚固

耐用。在 Plano 牌的产品中，最适合于储存中等尺寸电子元件的盒子被归在钓鱼用具盒一类中，你可以在 http://www.planomolding.com/tackle/products.asp 看到。

对于未加分隔的普通储物盒，以 Prolatch 公司 23600-00 型的盒子最适合放置在文件柜的抽屉里，其上有插销，你可以稳当地沿长边对齐摆放。如图 5-4 所示。



图 5-4　这个 Plano 牌的盒子没有隔断，因此适合于储存成捆的导线或中等尺寸的工具。当沿着其长边对齐往上摞时，一个文件柜的抽屉刚好可以摞 3 层

Plano 公司也有一些设计得很好的工具盒出售，其中有一款可以摆放在桌面上。它上面有一些小抽屉，可以用来放置螺丝刀、钳子以及其他基本工具，便于拿取。因为对于大多数的电子项目来讲，所需的工作区有大约 3 ft 见方就足够了，所以拿出一部分的桌面空间来放置工具盒算不上什么大的牺牲。

如果你的钢质桌子的抽屉相对较浅的话，那么可以拿出一个来放置打印的元件目录。不要因为你可以在线买到所有的东西，就小看硬拷贝的用处。例如，Mouser Electronics 公司的商品目录就有一个索引，从某种程度来讲，这要比商品目录的在线搜索功能更好一些，因为这个索引将商品目录分成了很多很有帮助的类。有好多次我仅仅通过浏览这个索引，就找到了一些我以前从不知道其存在的器件，这要比在线逐页浏览 PDF 页面快得多（即使是通过宽带连接的网也是如此）。直到今天，Mouser Electronics 公司仍然像以往一样十分慷慨地派送其 2 000 余页的商品目录。McMaster-Carr 公司也给人派送商品目录，不过它只在你订购了其产品之后才派送，并且每年只派送一次。

现在回到那个大问题上：如何储存像电阻器、电容器以及芯片这类极小的器件呢？针对这个问题，我用过了很多办法。最明显的方法莫过于购买一个有许多小抽屉的箱子，其中的每个抽屉都可以取下来，以便你在拿取其中的东西时可以将抽屉放置在桌面上。不过我不喜欢这类东西，原因有二。第一，对于很小的器件来讲，你需要将抽屉的空间进行分隔，但这种抽屉的分隔块始终不够安全；第二，可抽出的抽屉存在突然翻倒的风险，容易导致里面装的东西满地撒落。也许你很细心，在你的手中不会发生这种事情，但是我却不是那么细心的人。

我个人喜欢使用 Darice 的微型储存盒，如图 5-5 所示。购买量少的话，可以去 Michaels 店购买；若购买量大，则可以在 http://www.craftamerica.com 这样的供应商那里以更加便宜的价格进行网购。其中的蓝色盒子被划分为 5 个小室，大小和形状正好适合放置电阻器；黄色盒子被划分为 10 个小室，很适合放置半导体元件；紫色盒子没有做划分，红色盒子进行的是有大有小的混合分隔。



图 5-5 Darice 牌的迷你储存盒是储存电阻器、电容器以及半导体元件的理想容器。在其端部贴上标签之后，既可以稳定地堆放起来，也可以储放在架子上。标签经热风枪加热之后也很容易去掉

这种盒子的分隔块与盒体是注塑为一体的，不存在分隔块滑落出来、元件混在一起的烦恼。它的盖子密封很严实，即使盒子掉落到地上，一般也不会打开。盖子不仅具有金属交链，而且边沿上还有个隆起，可以安全地将盒子堆放起来。

我将我的小储存盒放在桌面以上的几层架子上，层之间的间隙为 3 in，因此每层架子上可以叠放两层盒子。如果我要用某个盒子，就将它们放到桌面上，并堆放起来。

贴标签

无论你用什么方式储存元件，贴上标签是必不可少的。任何喷墨打印机都可以制作出很整洁的标签，若使用可剥离的（而非永久性的）标签的话，那么将来你还可以重新组织你的器件（这种重新组织似乎总是必要的）。我给装电阻器的容器贴上色码标签，这样一来，我就可以将电阻器上的条形色码与标签上的色码进行比对，如果电阻器放错了地方可以马上发现，见图 5-6。



图 5-6　为了避免电阻器放错位置，在每一个小室上方贴上打印的电阻器色码

更为重要的是：你需要在装元件的每个小室里放上另一片标签（非粘贴的）。这个标签用来记录制造商的产品型号、来源，以便下次订货。我从 Mouser Electronics 公司购买了许多东西，每次当我打开其元件的小塑料包装时，总是首先剪下包装上的辨识标签，并将其放入容纳元件的小室，然后再将元件放在标签的上面。这省却了以后的许多烦恼。

如果我真是一个做事情井井有条的人，就应该在自己的计算机中保存一个数据文件，其中列出我购买的一切东西，包括购买日期、来源、元件类型及数量等。可惜我不是一个做事情井井有条的人。

工作台上的布局

有些东西是如此的重要，应该将它们放置在一个永久性的机座上，然后再摆在工作台面或桌面上。这包括电烙铁、带放大镜的焊接帮手、台灯、面包板、电源插线板以及电源。就台灯来讲，我喜欢拥有日光谱

的荧光灯泡，因为它的光分布均匀，可以帮助我辨识电阻器上相邻色码的颜色。

电源的选择跟个人的喜好关系很大。如果你是一个对电子学很严肃认真的人，那么你应该购买一台可以在多种不同稳定电压和校准电压下都能够输出平滑电流的电源。从今台公司购买的微型壁插式电源是无法满足这种要求的，它的输出会随着负载的大小而发生变化。然而，就如你所看到的，它仍然能够满足一些基本实验的需要，但是当你做逻辑芯片的实验时，就需要在面包板上安装一个 5 V 的调压器了。总之，我认为是可选一个良好电源的。

另一个可选的东西是示波器。它可以显示导线以及元件中电压和电流的波动，不仅如此，将探针放在电路中不同的点上，你还可以追踪出电路中出错的位置。这是一件相当灵巧，且值得拥有的东西，但是它要耗费数百美元，对于我们目前为止的实验项目来讲，它并不是必需的。如果你计划深入学习音响电路的话，那么示波器就相当重要了，因为你肯定希望看到自己产生出来的波形到底是什么形状的。

你可以选用物美价廉的示波器，就是那种可以插在计算机 USB 口上的，利用计算机的显示器来显示信号。我就试过一个，但是我对其结果不是完全满意。它确实能够工作，但是它对低频信号的显示似乎不太精确和可靠。也许是我的运气不好吧，但是我决定不再尝试任何其他牌子的同类东西。

你的工作台面或桌面肯定会因随意地划拉、刀割、锡滴掉落等而变得伤痕累累。我用一块 0.5 in 厚、2 in 见方的胶合板来保护工作区的主要部分，并在胶合板的边上固定一个微型台钳。在处理敏感元件时，为了降低静电的风险，我又在胶合板上面盖了一层方方正正的导电泡沫塑料。这虽说不便宜，但却可以使芯片免受静电的毁坏。此外，元件再也不会在桌面上散布得到处都是了，我可以将元件的引脚戳入泡沫塑料中，就像园子里种的树木一样。也跟园子一样，我可以将桌面划分为若干部分，让电阻器在一侧，电容器在另一侧，芯片则放在正前方靠边的地方。

在工作的过程中，你将不可避免地造成混乱。小段弯曲的导线、失落的螺丝、扣件、剥下来的绝缘碎片等会逐渐积累起来，不利于正常的

工作。如果金属部件或碎片进入你正在搭建的项目电路中，就可能引起短路。因此你需要一个垃圾桶。不过这个垃圾桶必须好用。我用的是大尺寸的垃圾桶，它是如此之大，以至于我往里面扔任何东西都不会落在外面，并且我永远也不会忘记它的存在。

最后也是最重要的一样东西：一台计算机。既然所有的元件参数表都可以在网上获得，所有的元件都可以在网上订购，许多的实例电路也被电子爱好者和教育者放在了网上，在这样一种情况下，我认为任何人如果离开了高速运行的网络，都将无法高效率地工作。为了避免浪费空间，我建议你使用一台小的、便宜的笔记本电脑，它应该占用尽可能小的地方。图 5-7 所示为一个铁皮桌的工作区配置方案，可供参考。

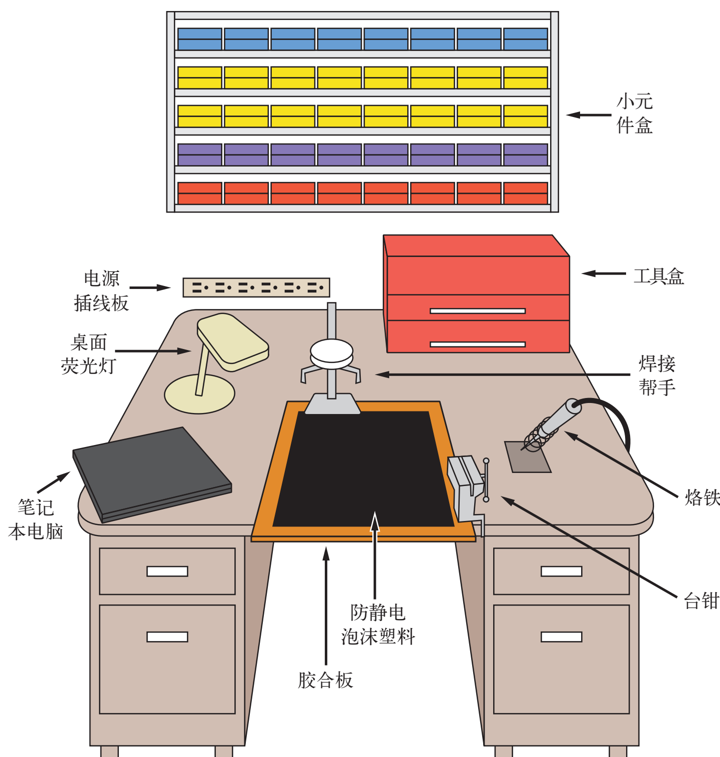


图 5-7　在搭建小型的电子项目时，一张铁皮桌要好于一张传统的工作台（起码也会一样好）。它可以提供很大的工作区和巨大的储存区，并且具有足够的铁质来让你接地，以方便你处理对静电敏感的元件

参考资源

在线资源

Doctronics（http://www.doctronics.co.uk）是我最喜欢的教育和参考网站。我喜欢它绘制电路原理图的方式，喜欢它附带的大量面包板电路照片的风格（其他许多网站都懒得这样做）。这个网站还出售电路套件，如果你愿意掏钱并且愿意等，它就会把套件从英国邮寄给你。图 5-8 就是 Doctronics 网站上的一个部分网页。

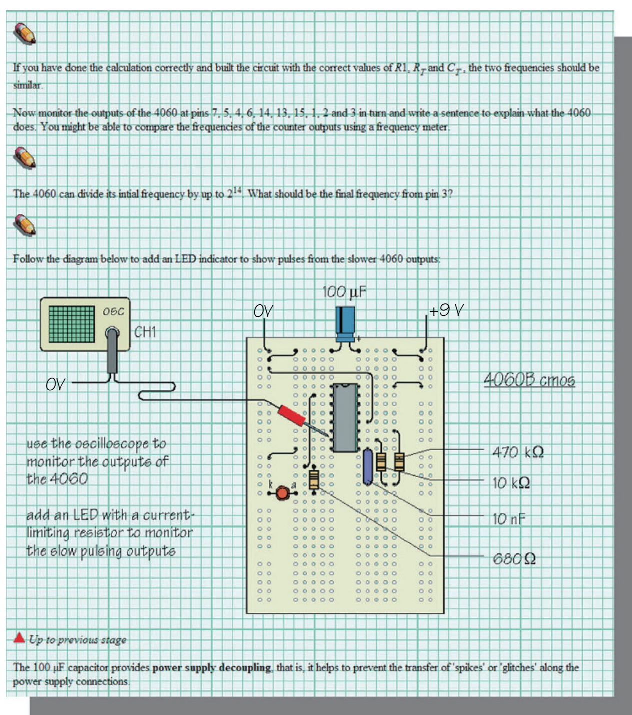


图 5-8　网站 http://www.doctronics.co.uk 上的一个网页，具体展示了该网站的教学指导方法。这是一个极其有用的免费网上资源

我最喜欢的第二个电子爱好者网站是 Electronics Club（电子学俱乐部）网站（http://www.kpsec.freeuk.com），它的总部也位于英国。它虽然没有 Doctronics 内容全面，但它的界面却十分友好，且内容易于理解。

对于那些想更深入地了解有关理论的读者，可以浏览网站 http://www.electronics-tutorials.ws。这个网站介绍的理论部分要比本书更深一些。

对于那些想要了解电子学领域中某些特殊内容的读者，可以试试唐 • 兰卡斯特的 Guru’s Lair（唐 • 兰卡斯特的教程之窝）网站（http://www.tinaja.com）。兰卡斯特在三十多年前撰写了 *TTL Cookbook* 一书，该书至少为两代电子爱好者和实验者打开了电子学的大门。兰卡斯特不仅了解自己所写的东西，并且也不怕编写自己的 PostScript 驱动、建立自己的串口连接之类相当富有挑战性的工作。在他的网站中你可以找到许多好点子。

书籍

你确实需要很多书。由于你已经在阅读本书，我就不再给你推荐其他入门性质的教材了。为了同本章的出发点相一致，我将给你介绍一些书目，以便你在各种不同方向上做更深入的学习，当然它们也可以用作参考书。下面这些书我都有，并且觉得它们很有用处。

Practical Electronics for Inventors，Paul Scherz 著（McGraw-Hill 出版社，第二版，2007）

这是一部宏篇巨著，精装本，40 美元的价格很超值。不要一看书名，就以为它是专为发明者而写的，即使你没有任何的发明需要，也一样会发现它十分有用。它是我的第一部主要的参考书，覆盖了从电阻器和电容器的基本性质一直到一些相当高深的数学概念，范围相当广泛。如果你只买一本书的话，那么我就推荐这本书（当然还要加上我的这本书）！

Getting Started with Arduino，Massimo Banzi 著（*Make* 出版，2009）

对于本章稍后将要介绍的 PICAXE 可编程微控制器，如果你欣赏它的简单和方便的话，那么你会发现 Arduino 会给你更大的惊喜，它能够实现更多功能。这本书是关于 Arduino 的最简单的入门读物，它可以帮助你熟悉 Arduino 中使用的处理语言（类似 C 语言，跟 PICAXE 中使用的 BASIC 语言不太相同）。详见图 5-9。

Making Things Talk，Tom Igoe 著（*Make* 出版，2007）

这本立意高深、内容全面的著作给我们展示了如何充分利用 Arduino 的能力去与其环境进行交流，甚至于可以让其访问互联网上的网站。详见图 5-9。

TTL Cookbook，唐 • 兰卡斯特著（Howard W. Sams & Co 出版，1974）

1974 年的版权日期并不是印刷错误！你也可以找到之后的版本，不过无论你买哪一个版本的，它们都将是二手的，也许还比较贵，因此这本书现在已具有一定的收藏价值。唐 • 兰卡斯特是在 7400 系列芯片出现引脚对引脚的 CMOS 模仿版本之前写成这本书的，但它仍然是一本不错的参考书，因为其中的概念和元件型号并没有改变，不仅如此，兰卡斯特的文笔也十分精确和简明。详见图 5-10。

CMOS Sourcebook，Newton C. Braga 著（Sams Technical Publishing 出版，2001）

这本书完全针对 4000 系列的 CMOS 芯片，而不是我这里使用的 74HC00 系列的芯片。4000 系列的 CMOS 芯片已经比较古老了，对它们的处理需要格外小心，因为它们比后面出现的新一代 CMOS 芯片更容易受到静电的破坏。不过，这个系列的芯片仍然在广泛使用，它们的最大优势是能够适应宽广的电压范围，通常是从 5 V 到 15 V。这意味着你可以搭建一个 12 V 的电路来驱动一个 555 定时器，并把定时器的输出直接接到这种 CMOS 芯片上。该书组织得很好，共分 3 个部分：CMOS 基础、功能示意图（给出了所有主要芯片的引脚功能），及简单实例电路（教读者如何用这些芯片来实现一些基本的功能）。

The Encyclopedia of Electronic Circuits，Rudolf F. Graf 著（McGraw-Hill/TAB Electronics 出版，1985）

这是一个电路原理图的大杂烩，解释得很少。当你有了一个点子，并想知道别人是如何实现这个点子的时候，有这本书在身边就十分有用。实例往往比一般性的解说更有价值，而这本书正好提供了大量简明的实例。后来又出版了好多本，构成一个系列，而这一本是该系列的第一本。你会发现它里面有你需要的几乎所有东西。

The Circuit Designer's Companion，Tim Williams 著（Newnes 出版，2005 年第二版）

在将电路应用到实际工程中时，这本书可以给你提供很多有用的信

息，不过其风格相当干涩，技术性较强。在你想将自己的电子实验项目用于实际应用的时候，这本书也许可以帮到你。

The Art of Electronics，Paul Horowitz 和 Winfield Hill 著（Cambridge University Press 出版，1989 年第二版）

这本书已经重印多达 20 次的事实告诉了我们两件事：（1）许多人将其当成基础知识的一个来源；（2）它的二手书应该到处都有，由于新书的价格高达一百多美元，因此二手书值得考虑。由于作者是两位大学教师，因此其技术性要比 *Practical Electronics for Inventors* 一书强，每当我寻找支持信息时，都发现这本书很有用。

Getting Started in Electronics，Forrest M. Mims III 著（Master Publishing 出版，2007 第四版）

尽管这本书的初版可以追溯到 1983 年，但它仍然是一本值得拥有的好书。我认为我自己的这本书已经覆盖了这本书的许多主题，不过通过阅读完全不同来源的一些解释和建议，你将获益匪浅。此外，该书在某些电气理论方面要比我的介绍稍微深入一些，而且浅显易懂、绘图精致。不过我要提醒你，它只是讲述电子学的一本小薄书，不要指望它能够给出一切答案。

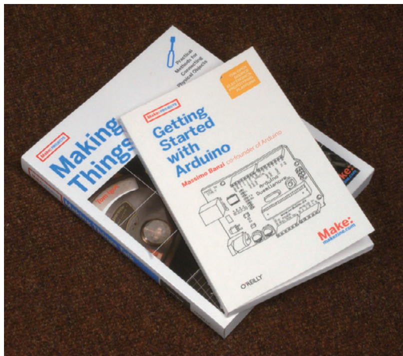


图 5-9　如果你对基本的微控制器还不满足，想要进入到 Arduino 芯片的奇妙世界中去，那么 MAKE 出版的这两本书可以给你提供一个指引

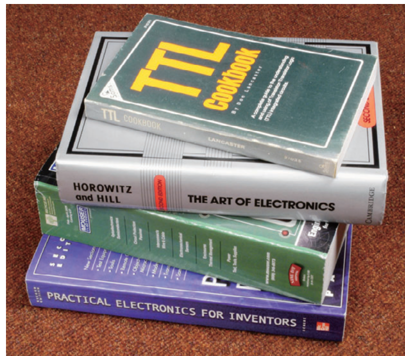


图 5-10　最上面的是唐・兰卡斯特撰写的经典著作 *TTL Cookbook*，它已经日久失色；最厚的那本是 Mouser Electronics 销售公司厚达 2 000 页的产品目录；其余两本是综合性的参考书，可以作为电子学各个领域中的辅助指南，用上好多年都不会过时

基础知识

一个双向关系

无论哪个年代制造的任何一个电机都在某种程度上使用了电和磁之间的关系。这个关系对于我们这个世界来讲绝对是最基本的。请记住电能够生磁。

当电流流过导线时，就会在导线的周围产生磁场。

这个原理倒过来也成立：磁可以生电。

当导线在磁场中移动时，导线中就会产生电（流）。

发电就使用了上面的第二条原理。发电时，要用一个内燃机、水轮机、风车或其他形式的能源，要么在一个强大的磁场中转动线圈，要么在一些大规模的线圈中转动磁铁。这样一来，线圈中就感应出了电（流）。在接下来的实验中，你将看到这个效应的一个戏剧化的微型演示。

实验 25 磁性

所有学校的科学课程中都应该有这个实验。即使你还记得如何做这个实验，我还是要建议你再做一次。搭建起这个实验装置只需花费很少的时间，而它却是我们的一个全新主题——电和磁关系的切入点。很快它就将引领我们进入音频的再现以及无线电的领域。此外，我还将介绍有关自感的基础知识，自感是无源器件的第三个也是最后一个基本性质（其他两个是电阻和电容）。我之所以将自感留在最后介绍，是因为它跟我们已经做过的实验没有多大关系，但是当我们开始处理波动的模拟信号时，自感就变得很重要了。

你需要用到以下东西。

- ❒ 大起子。
- ❒ 22 号线规（或更细）的导线，数量：6 ft。
- ❒ AA 电池。

步骤

这个实验实在是简单得不能再简单了！将导线绕在起子靠近尖端的轴上。每绕一圈都应该保持整洁、绷紧并且圈与圈之间要彼此靠紧，大

约需要绕 100 圈，它们沿轴向的范围不应该超过 2 in。为了满足这个范围要求，我们不可避免地需要在前面已经绕好的导线上面绕制更多的圈。如果最后一圈有松开的迹象（如果你使用的是多股绞合的导线就会发生这种现象），请使用一块绝缘胶布来将它固定好。见图 5-11。

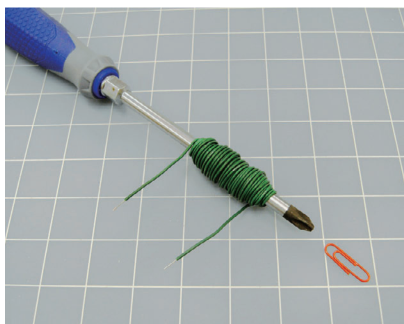


图 5-11 任何在孩童时期错过了电磁特性演示这个最基本的演示实验的人，都应该试试这个实验，享受一下用单节 AA 电池来移动回形针的乐趣

接下来如图 5-12 那样接上一节电池。第一眼看来，似乎这主意不咋样，因为这就跟你在实验 2 中所做的那样，是在将你的电池短路。不过，当我们让电流通过绕制成圈的导线而不是通过笔直的导线时，在电池消耗完以前，我们会从这个短路电流中获得一些功。

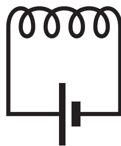


图 5-12 一个再简单不过的电路原理图

找一个松软、光滑的表面（薄纱的表面就可以），这种表面的摩擦较小。将一个夹纸张的小回形针放置在该表面上靠近起子尖端的地方。由于大多数起子都是磁化过的，因此你会发现回形针将自然地被吸到起子的尖端。如果是这种情况，请将回形针移远一点，移出这个吸引范围。接下来在电路中施加 1.5 V 的电压，你将看到回形针跳到了起子的尖端上。祝贺你：你已经制造出了一个电磁铁！

理论知识

电感

当电流流过导线时，就会在导线的周围产生磁场。由于这个效应是由电流“感应”出来的，因此这种性质被称作**电感**（inductance）。图 5-13 说明了这种效应。

环绕一根直导线的磁场是十分微弱的，但是当我们将导线弯曲成圆圈时，磁场就会积聚，指向穿过圆圈中心的方向，如图 5-14 所

示。如果增加更多的圆圈，形成一个线圈，磁场就会进一步地加强。而如果我们在线圈的中线放置一个磁性物体（例如一把起子），效果会进一步增大。

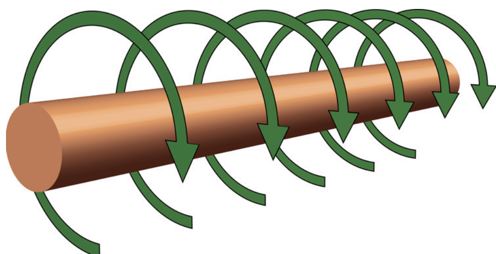


图 5-13 当电流从左到右沿着导体流动时，它感应出来的磁场如图中的绿色箭头所示

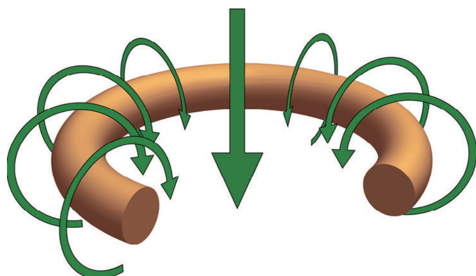


图 5-14 当导线被弯曲成圆圈时，累积起来的磁场将沿着通过圆圈中心的方向，如图中的大箭头所示

这里有一个近似公式，用来表示线圈的电感与线圈的直径、线圈从一端到另一端的长度以及匝数之间的关系，这里的字母 L 是电感的符号，不过电感的单位则用亨利（Henry），以纪念美国的电学先驱约瑟夫 • 亨利。

L（微亨）= [(D×D)×(N×N)] / [(18×D) + (40×W)]（近似）

在这个公式中，D 是线圈的直径，N 是匝数，W 是线圈从一端到另一端的宽度，见图 5-15。从这个公式可以得到 3 个简单的结论。

- ❒ 电感随着线圈的直径增加。
- ❒ 电感随着线圈匝数的平方增加（换句话说，3 倍的匝数产生 9 倍的电感）。

❒ 若匝数保持不变，则当你将线圈绕得细而长的时候，电感就会比较小，相反，当你将线圈绕得粗而短的时候，电感就会比较大。

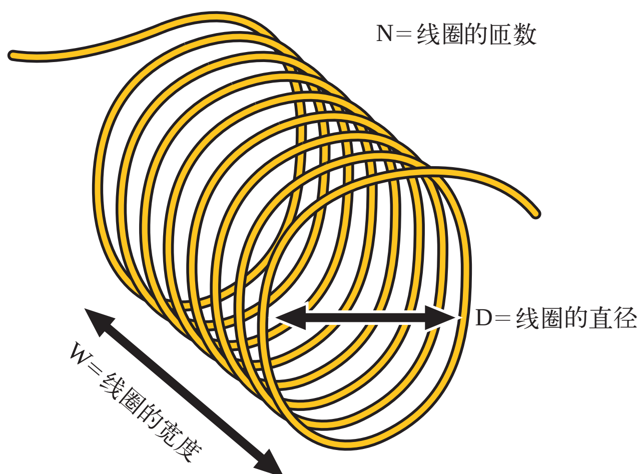


图 5-15 线圈的电感随着其直径以及匝数的平方增加。如果所有其他参数保持不变，通过将各匝压缩得更加紧密来降低宽度（即从一端到另一端的距离），那么电感将增大

基础知识

线圈的表示符号及基础

看看图 5-16 所示的线圈符号。请注意，如果线圈有铁芯，那么其符号上会多一对线段（有时只是多一条线段）。如果是铁氧体磁芯，那么这些线段有时会绘制成虚线。

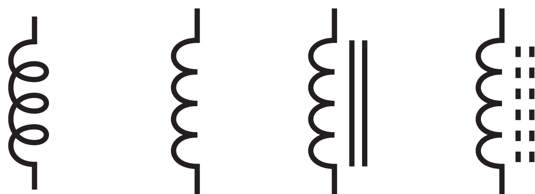


图 5-16 线圈的电路原理图表示符号。最右端的是比较老的符号。第三个和第四个符号分别表示线圈是绕在固体或者粉末磁芯上的

铁芯会增大线圈的电感，因为它会增大磁效应。

孤零零的线圈通常没有任何极性。你可以将其两个连接端对调，但是磁场会因此而反转方向（与其他东西相互关联的线圈——例如在变压器和螺线管中的线圈——是有极性的）。

线圈最广泛的应用也许要数在变压器中的应用了。在变压器中，两个线圈通常共用同一个铁芯，其中一个线圈中的交流电会在另一个线圈中感应出交流电。如果初级线圈（输入）的匝数是次级线圈（输出）匝数的一半，那么输出的电压将翻倍，输出的电流将减半——假设这个变压器的效率为 100%。

背景知识

约瑟夫・亨利

出生于 1797 年的亨利是第一个建立电磁铁并展示其强大威力的人。他还首次提出了“自感”的概念，用来指称“电的惯性”——线圈的一种性质。



图 5-17 约瑟夫・亨利是一个美国实验科学家，是电磁学研究的先驱。这幅照片源自维基共享资源

亨利出身于纽约州首府奥尔巴尼的一个靠打零工过活的家庭。在他成为钟表学徒之前，亨利在一家百货店铺工作，他还很想成为一名演员。他的朋友们说服他加入了奥尔巴尼学院，在这里，他成为了一个具有科学才能的人。尽管他不是大学毕业生，自己也说“主要是靠自学”，但他却在 1826 年被聘为奥尔巴尼学院在数学和自然哲学方面的教授。迈克尔・法拉第在英国做着跟亨利类似的工作，但是亨利并不知道。

1832 年亨利受聘于普林斯顿大学，年薪为 1 000 美元，并得到一套免费的住房。当莫尔斯试图申请电报的专利时，亨利声明自己已经明白了它的概念，并且确实也已经装备了一套基于类似原理的系统，当他在哲学大厅的实验室里工作时，可以用它来给家中的妻子发送信号。

除物理科学之外，亨利还讲授化学、天文学以及建筑学。由于当时的科学不像今天这样有严格的专业划分，因此他研究的内容很杂，像磷光、声音、毛细管作用之类的现象以及弹道学等都在他的研究之列。1846 年，亨利作为新建立的史密森纳研究院的秘书，领导该院的工作。

实验 26　桌面上的发电系统

你只需拥有 3 个元件，就可以马上看到磁生电的现象。

以下是你所需要的东西。

- ❒ 圆柱形的钕铁硼永磁铁，直径为 3/4 in，磁化方向沿轴向，数量：1 个（可以从 http://www.kjmagnetics.com 之类的网站购得）。
- ❒ 一卷连接线，26 号线规，100 ft 长，数量：1 卷。
- ❒ 一卷漆包线，0.25 磅，26 号线规，大约 350 ft，数量：1 卷（在网上搜索“magnet wire”(电磁线或漆包线)）。
- ❒ 普通的 LED，数量：1 个。
- ❒ 100 μF 的电解电容器，数量：1 个。
- ❒ 信号二极管，2N4001 或类似型号，数量：1 个。
- ❒ 端部带鳄鱼夹的跳接线，数量：两根。

步骤

你也许可以用你的那卷连接线来完成这个实验（能否成功取决于那卷连接线与你的那块磁铁的相对尺寸），不过由于用漆包线的结果很可能会更好，因此我假定你使用的是漆包线——至少在开始时是如此。用漆包线的好处在于其绝缘层很薄，因此绕得很紧密，增加了电感。

先瞧瞧线卷的中线孔洞，看线卷导线的内端是否像图 5-18 和图 5-19 那样已经引出。如果没有引出的话，那么你必须将这个线卷解绕到另一个大直径的圆柱体上，然后再重新绕回到原来的卷线筒上，并注意让导线的内端伸出。

用万用刀或砂纸刮掉漆包线两端的透明绝缘，直到裸露出铜为止。为了检查绝缘刮去的情况，请把万用表设置到欧姆档，然后接到线卷导

线的两个端部。如果接触良好的话，测得的电阻应该为 30 Ω 或更小。

将线卷放在一个非磁性、不导电的表面上，例如木的、塑料的或者覆盖玻璃的桌面。用跳接线将一个 LED 连接在线卷的两端之间。极性无所谓的。然后拿来图 5-20 所示的圆柱形钕铁硼磁铁，快速地往下插入线卷的孔，然后再快速地拔出来，如图 5-21 所示。你应该可以看到 LED 闪烁（要么在往下插入的时候，要么在往上拉出来的时候）。



图 5-18 日常使用的 100 ft 长的连接线卷可以用来演示线圈的感应功率



图 5-19 和连接线相比，漆包线具有较薄的绝缘层，因此各匝之间绕得更加紧密，可以感生出更加强大的磁场（和电压）

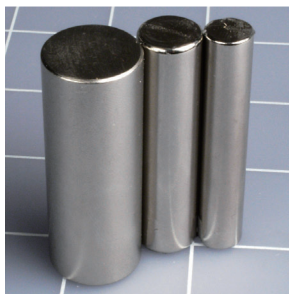


图 5-20 3 块钕铁硼磁铁，直径分别是 0.25 in、0.5 in 和 0.75 in。我本想让它们彼此间隔 0.5 in 的距离进行拍照，但它们不同意



图 5-21 通过在线圈的中心孔快速地上下移动磁铁，可以产生足够的电力来使 LED 发出明亮的闪光

如若使用 100 ft 长的 26 号线规的连接线，同样的现象则未必会发生。在理想的情况下，你的圆柱体磁铁应该与卷线筒的中心孔配合特别紧密。如果存在很大的间隙，就会极大地降低磁铁的作用。尤其需要注意的是，如果你使用的是老式的铁氧体磁铁，而不是钕铁硼磁铁的话，那么你也许根本就得不到任何结果。



血泡和死亡媒介

钕铁硼磁铁可以造成很大的危害。它们的质地很脆，如果猛撞在一片磁性金属或其他磁铁上面，会被击得粉碎。由于这个原因，许多制造商都建议大家戴上眼睛保护装置。

由于磁铁的拉力会随着它和其他物体之间的距离变小而增大，因此最终的间隙闭合极其迅速，闭合的力量极其强大。你的皮肤很容易被夹伤，并产生血泡。

如果在靠近钕铁硼磁铁的地方有一个铁制或者钢制的物体，那么磁铁将吸引它，并抓取它，其结果有可能令人不快，尤其当这个物体具有尖锐的边角而你的手又在其附近的时候。在使用磁铁时，要在非磁性表面清理出一块干净的地方，并提防该表面下方的磁性物体。我放在厨房工作台面下的一把钢质起子，就曾经出乎意料被我的一块磁铁吸起而重重地撞击在工作台面的下方。

要明白磁铁会产生磁铁。当一块磁铁从一个铁质或钢质物体附近通过时，这个物体本身也会获得一些磁性。小心不要磁化了自己的手表！

不要在计算机、磁盘、使用磁条的信用卡、任何类型的磁带及其他存储介质的附近使用磁铁。也要注意让磁铁远离电视屏幕和视频监视器（尤其是阴极射线管的那种）。最后但同样重要的是，强大的磁铁会干扰心脏起搏器的正常运行。图5-22为想生活在“远离电网”区域的人们提供了一个方案。

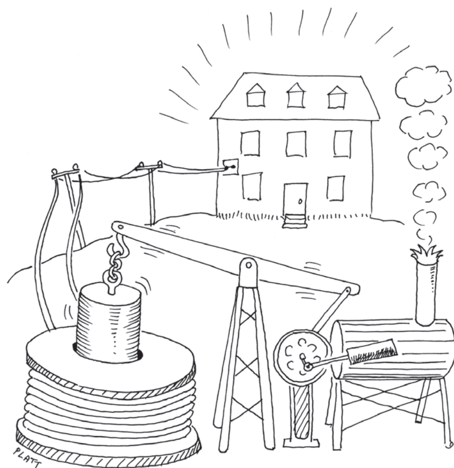


图 5-22 由于电感随着线圈的直径以及匝数的平方增加，在线圈中移动磁铁所能输出的电力将随着规模的增大而显著增大。那些想生活在“远离电网”地方的人们也许可以考虑用图中这个蒸汽发电方案来给三居室的家庭供电

还有另外一件事情也值得一试。断开 LED，如图 5-23 那样，将一个 100 μF 的电解电容器与一个信号二极管串联起来再连接到上面。用万用表来测量电容器两端的电压。如果你的万用表有手动范围设置，请将其设置到 20 V 直流。请确保二极管的正端侧（无记号的一侧）连接在电容器的负端侧（有记号的一侧），以便正电压能够通过电容器再通过二极管。

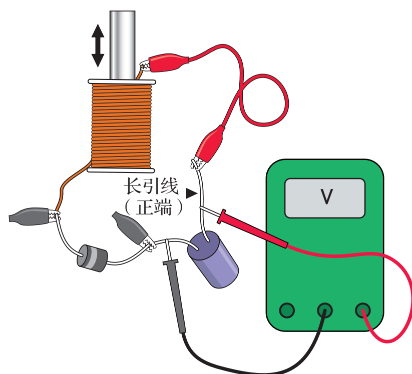


图 5-23 将一个二极管和一个电容器串联，你可以利用磁铁在线圈中心移动而产生的脉冲电流来给电容器充电。这个示意图说明了对交流电进行整流的原理

现在再快速地在线圈中上下移动磁铁。万用表应该显示出电容器一直在积累电荷，直到大约 10 V。当你停止移动磁铁后，电压读数将逐渐降低，这主要是因为电容器会通过万用表的内阻放电。

这个实验要比我们实际意识到的更为重要。请记住，当你将磁铁插入线圈时，它会感应出一个方向的电流，而当你拉出磁铁时，它将感应出相反方向的电流。你实际上发出了交流电。

二极管只允许电流沿着电路的一个方向流动，它会阻断相反方向的电流，这就是电容器能够积聚电荷的原因。如果你因此下结论说二极管可以用来将交流改变成直流电，那么你是绝对正确的。我们说二极管是用来对交流电进行“整流”的。

实验 24 表明，利用电压可以产生出磁铁。实验 25 则表明，利用磁铁也可以产生出电压。现在我们已经做好了充分的准备，下面就利用这些概念来检测和再现声音。

实验 27　喇叭拆解

我希望你牺牲一个 2 in 的喇叭，它的成本大约为 5 美元，你应该舍得浪费这 5 美元！实际上，我并不将这看成是浪费，因为你若想要学习一个元件的工作原理，什么也取代不了实际看看它里面的情况。你也许已经有了这样一个喇叭，它是你放在地下室中的某个废弃的个人电子产品或玩具的一部分。

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 尽可能是最便宜的 2 in 的喇叭，数量：1 个。图 5-24 就是一个一般的例子。



图 5-24　利用一把万用刀或者一片 X-Acto 牌的刀片，可以将一个 2 in 的喇叭进行拆解，并从中学到一些有益的东西



图 5-25　准备用于拆解学习的喇叭

步骤

将喇叭仰面朝上（如图 5-25 所示），用一把锋利的万用刀或者一片

X-Acto 刀片沿着喇叭圆锥的周边沿割开。再沿着中心的圆圈割开，除掉你割下来的黑色纸质环圈。结果应该像图 5-26 那样。你应该看到柔软的喇叭颈部，它通常是用黄色的编织物做成的。如果你沿着它的边沿割开，那么你能够将隐藏的圆柱纸筒拉出来，喇叭的铜质线圈就缠绕在这个纸筒上。在图 5-27 中，我已经将其翻转过来，以便更容易看到。这个铜质线圈的两个出线端一般通过喇叭后面的两个接线端接收电力。可以看到，在内外磁铁之间有一个槽隙，当我们把铜质线圈安装在这个槽隙中时，在磁场的作用下，线圈会对起伏的电压做出反应，在线圈上产生出一个忽上忽下的力。这个力使喇叭的锥体振动，产生声波。

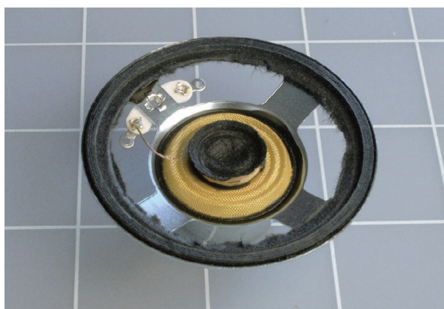


图 5-26 锥体已经被去掉

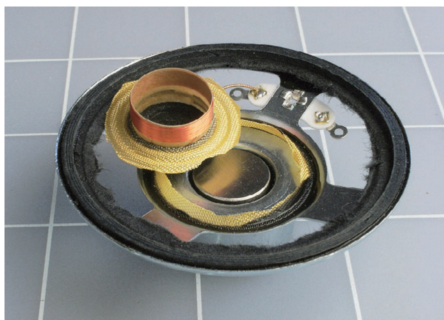


图 5-27 锥体的颈部已经被拔出。请注意铜质的线圈，它被精确地安装在喇叭基体里的两块磁铁之间的槽隙里

立体声系统中大个喇叭的工作原理跟这个是完全一样的。只不过它们里面的磁铁和线圈更大，能够处理更大的功率（通常可以高达 100 W）。

每当我打开一个类似这样的小器件时，我都会非常感叹——它们里面的元件怎么会做得那么精巧，它们大规模生产的成本怎么会做到那么低廉。今天的我们以为这些元件天生就应该是这个样子，而电学的先驱者们（譬如法拉第和亨利）要是有机会看到这些元件今天的模样，我猜想他们一定会感到无比惊讶！亨利不知道花费了多少个日日夜夜，花费了多少个星期，用手工绕制线圈来制作电磁铁，但是其效果却远不如我们今天这个便宜的小喇叭。

背景知识

喇叭溯源

喇叭使用了这样一个事实，就是当我们给位于磁场中的线圈通以变化的电流时，线圈将响应电流的变化而发生移动。这个点子是由恩斯特•韦尔纳•冯•西门子于 1874 年提出来的。西门子是一个多产的德国发明家，他还于 1880 年建造了世界上的第一台电梯。今天，西门子股份公司是世界上最大的电子公司之一。

当亚历山大•格雷厄姆•贝尔于 1876 年申请电话专利时，就采用了西门子的这个概念在听筒中产生音频。从那时开始，声音再现设备的质量和功率逐渐得到提高，直到 1925 年通用电气的切斯特•赖斯和爱德华•克劳格发表了一篇文章，该文建立起了到今天还在使用的喇叭设计基本原则。

在 http://www.radiolaguy.com/Showcase/Gallery-HornSpkr.htm 网页上，你可以看到一些十分漂亮的早期喇叭的照片，它们使用号角结构来获得最大效率。由于声音放大器的功率变得越来越强大，同声音再现的质量和低制造成本需要相比，喇叭的效率就不怎么重要了。如今的喇叭仅仅将大约 1% 的电能转换成了声能。图 5-28 就是一个典型范例。



图 5-28　这个漂亮的 Amplion 牌 AR-114x 型的喇叭说明了在早期音频放大器功率十分有限的情况下，设计者们为了使效率最大而进行的努力。这个照片选自“Sonny，the RadiolaGuy”。在 www.radiolaguy.com 上有许多早期扬声器的照片，其中有些扬声器是供出售的

理论知识

由声音到电流，再到声音

现在我们需要建立一个清晰的思路，就是如何将声音转换成电流，然后再转换回声音。

假定有个人用棍子敲打一面锣。锣上的平坦金属面来回振动，产生出声波。声波是一个较高空气压力的波峰跟着一个较低空气压力的波谷构成的周期性波形。

声波的波长等于一个压力波峰到下一个压力波峰之间的距离（其范围通常是从毫米到米）。

声音的频率等于1 s里面的波的个数，通常以赫兹（Hz）为单位。

假定我们在压力波的路径上放置一小块十分灵敏的薄塑料膜。这个塑料膜会像随风飘动的树叶一样，随着声波一起振动。假使我们在这个膜的反面连接一个由极细的导线做成的微型线圈，使它跟着膜一起运动，并在线圈的内部安装一个固定不动的磁铁。这个配置就像一个微型的、超灵敏的扬声器一样，只不过它的功能不是用电流来产生声音，而是将声音转换成电流。升压使膜沿着磁铁轴向来回运动，磁场则在线圈中产生一个波动的电压和电流。

这就是所谓的动圈麦克风。也有其他制作麦克风的方法，不过这个配置是最容易理解的。当然，它产生的电压是极其微小的，但是我们可以使用晶体管或者一系列的晶体管将它放大。最后我们可以将这个输出送到扬声器颈部的线圈，从而由扬声器在空气中产生出压力波。图 5-29 到图 5-32 说明了这个转换的次序。

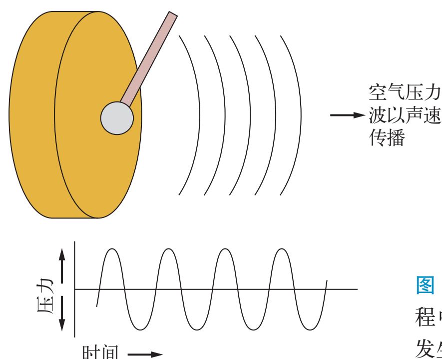


图 5-29 声音到电流再到声音的转换过程中的第一步。当用鼓槌打锣时，锣面发生振动，产生出压力波在空气中传播

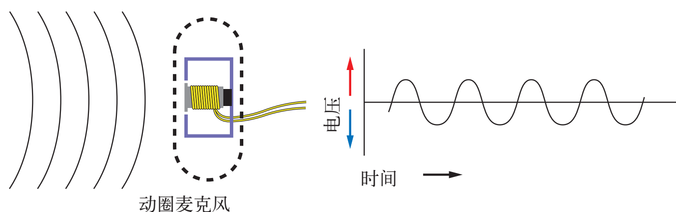


图 5-30　第二步：压力波从麦克风多孔的外壳进入，导致一个横膈膜同步振动。横膈膜上连接有一个线圈。当线圈来回振动时，其中心的磁铁就在线圈中感应出交流电流



图 5-31　第三步：来自麦克风的微小信号通过放大器，将信号的幅值放大，但仍然保持其频率和波形不变

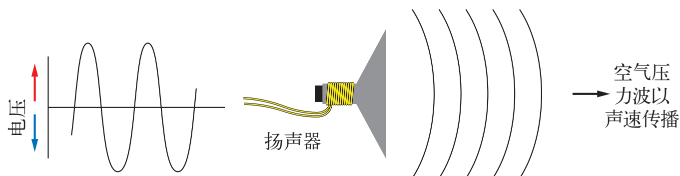


图 5-32　第四步：放大后的电信号流经绕在扬声器锥体颈部的线圈。电流感应的磁场导致锥体振动，再现原来的声音

在这个路径上的某个位置，我们也许想要记录下声音，在以后重现它。其中的原理是一样的。困难的地方在于如何设计麦克风、放大器以及扬声器，以便在每一步中精确地再现波形。这是一个相当大的挑战，也是精确的声音再现难以做到的原因。

现在来考虑当导线产生磁场的时候，导线中到底发生了什么。显然，导线中的一些功率转变成了磁力。但这是真实发生的事情吗？

实验 28 让线圈起来反抗

电容器会吸收一定的直流电流，直到充满电为止；此后，它就会阻断直流电流的流通。还有另外一种现象我至今都没有提及过，它跟电容的情况正好相反，这就是所谓的**自感**，它存在于任何类型的线圈中。开始时它阻碍直流电流（对直流电流起反对作用），随后它的反对作用逐渐消失。以下是一些定义。

电阻

电流和电压降之间的关系。

电容

开始时允许电流通过，最后阻断其通过。这种行为就是所谓的容抗。

自感

开始时阻断电流，然后又允许电流通过。这也常被称作**感抗**。事实上，你也许会发现“电抗”这个术语也被用来表示同一个意思，但由于自感是正确的术语，所以我就用它了。

在这个实验中，你将看到自感的作用。

你需要用到以下这些东西。

- ❒ LED，低电流的那种，数量：2 个。
- ❒ 连接线卷，26 号线规的，100 ft，数量：1 卷。
- ❒ 电阻器，220 Ω，功耗 0.25 W 或更高，数量：1 个。
- ❒ 电容器，电解型的，2 000 μF 或者更大，数量：1 个。
- ❒ 单刀单掷触动开关，数量：1 个。

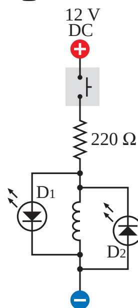


图 5-33 在这个自感的演示电路中，D_1 和 D_2 是发光二极管。当开关闭合时，D_1 会短暂地发光，这是因为线圈在开始时会阻碍电流的流通。当开关断开时，D_2 会闪光，这是因为线圈感应的磁场在衰减的过程中，会（在线圈中感应出电压而往 D_2）释放出另外一个短暂的脉冲电流

步骤

请看图 5-33 的电路原理图。初看一眼，你也许会觉得它没有什么特别意义。除了其中的波纹符号表示一个线圈之外，看不出其他新意。十分显然的是，电压将通过 220 Ω

的电阻器，然后再通过线圈，而两个 LED 则可以忽略，因为和这两个 LED 相比，线圈显然具有小得多的电阻（不管这两个 LED 方向如何）。

一切真会像以上分析的这样吗？让我们来找出答案！线圈可以用一卷 100 ft 长的 26 号线规（或更小）的连接线，当然，如果你有实验 25 中所述的那种漆包线，效果会更好。同样你需要把线卷的两端都引出，如果内部的一端不能引出，就需要重绕线圈，让这一端伸出来。

既然已经有了一个线圈，你就可以将其连接到面包板上了，如图 5-34 所示，图中的绿色圆圈是触动开关，两个圆形的红色物体是 LED。请确保使用低电流的 LED（否则你也许看不到任何结果），并确保其中的一个为负端朝上、正端朝下，另一个则为正端朝上、负端朝下。此外，如果可能，220 Ω 电阻器的功耗定额应该选为 0.25 W 或者更大（具体请见下面的警告）。

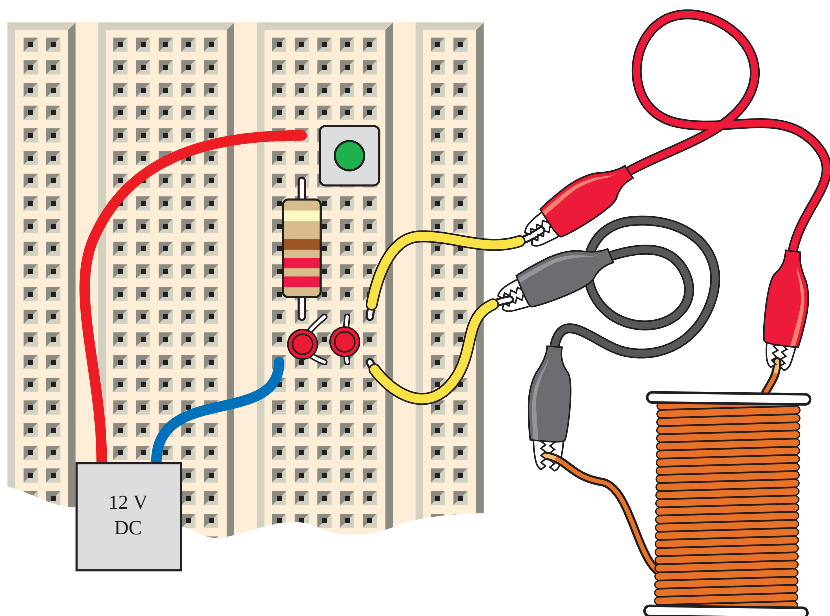


图 5-34　图 5-33 所示电路原理图的面包板版本给出了一个快速搭建该电路的方法。绿色的按钮是触动开关。两个红色 LED 在安装时应该保证一个的正端对着另一个的负端



发烫的电阻器

当220 Ω的电阻器上有电流通过时，该电流的大小约为50 mA。在12 V时，其产生的功率大约是0.6 W。如果使用的是0.125 W的电阻器，它就过载了，会变得很烫，也许会烧断。如果使用0.25 W的电阻器，它仍然会变得很烫，不过只要你按下开关的时间不超过1 s到2 s，它就不太可能烧断。

不要在没接线圈的情况下运行这个电路，那样的话，通过LED的电流就将超过50 mA。

当你按下按钮时，一个 LED 将短暂地闪光。当你释放按钮时，另一个 LED 应该闪光。

到底是怎么回事呢？线圈拥有自感，这就是说它会阻碍电流的任何忽然变化。开始时它抵抗电流，在刚按下开关的短暂时间里，它阻断了大部分的电流。因此电流会寻找其他的路径，因而通过 D_1，即电路原理图中左侧的 LED（D_2 不会有反应，因为它只能通过相反方向的电流）。

与此同时，电压克服线圈的自感。当自感消失时，线圈的电阻不会超过 10 Ω ——这样一来，大部分的电流就通过线圈了，而 LED 通过的电流变得如此之小，因而熄灭了。

当你断开电源时，线圈再次起阻碍作用。它反抗任何的忽然改变。在供电断开以后，线圈会顽固地将电流维持一会儿，因为随着磁场的衰减，它会转变成电场。这个剩余的电流将通过 D_2（即右侧的 LED）逐渐耗尽。

换句话说，线圈在其磁场中储存了一些能量。这类似于电容器在其两个金属极板间储存能量，差别仅仅在于：线圈阻断初始的电流，然后再允许电流逐渐建立起来，而电容器则吸收初始的电流，最后再阻断电流。

你用的线圈的匝数越多，线圈的自感就越大，LED 的闪光就越亮。

为了检验你对电气基础知识的了解情况，让我们对这个实验做最后

一点改动。拿掉 220 Ω 的电阻器，代之以一个 1 kΩ 的电阻器（以保护你的 LED 免受续流的损害）。拿掉线圈，代之以一个极大的电容器——理想的容值大约为 4 700 μF（小心接对电容器的极性）。现在按下按钮你会看到什么呢？请注意，为了看到结果，你必须按下按钮并保持好几秒。而当你释放按钮时，会看到什么呢？请记住：电容的行为跟自感的行为相反！

理论知识

交流电的概念

这里有一个简单的假想实验。假定你搭起一个 555 定时器电路，发出一串脉冲，通过一个线圈。这就是交流电的一种最原始的形式。

我们可以想到线圈的自感会干扰这一串脉冲，干扰的程度取决于每个脉冲的长度以及线圈电感的大小。如果脉冲太短，那么线圈的自感将倾向于阻断它们。也许我们可以将脉冲的长度设定得恰到好处，使它们与线圈的时间常数同步。用这种方法，我们也可以“调节”线圈，来让某个频率通过。

如果我们用一个电容器来替换线圈会发生什么情况呢？如果脉冲长度比电容器的时间常数长很多的话，那么电容器将倾向于阻断这些脉冲，因为这时电容器将有充足的时间充满电。相反，如果脉冲短一些，那么电容器将按照脉冲的节律进行充放电，看起来就好像它允许脉冲通过一样。

本书没有更多的篇幅来对交流电做更深入的介绍。交流是一个巨大而复杂的领域，交流电的行为古怪而奇妙，描述交流电的数学有相当的难度，要涉及微分方程和虚数。不过，我们还是可以很容易地给大家展示扬声器和线圈对音频（交流）的滤波效应。

实验 29　滤掉某些频率分量

在这个实验中，你将看到如何利用自感和电容来对音频信号进行滤波。你将建立一个分频网络：一种简单电路，它将低频送到一个地方，而将高频送到另外一个地方。

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 扬声器，8 Ω，直径 5 in，数量：1 个。图 5-35 是一个典型例子。
- ❒ 音频放大器，STMicroelectronics 公司的 TEA2025B 型或其他类似产品，数量：1 个。见图 5-36。
- ❒ 非极化电解电容器（也称双极性电容器），47 μF，数量：2 个。图 5-37 是一个例子。它们的上面应该印有 NP 或 BP 字样，以表示“非极化”或“双极性”。
- ❒ 非极化电解电容器，100 μF，数量：5 个。由于你将处理的是在正、负之间交替变化的音频信号，因此你无法使用常用的极化电解电容器。如果你想免除订购非极化电容器的麻烦和费用，可以将两个常用的电解电容器极性相反地串联起来，使它们的负端连接在中间，来代替非极性电容器。只是需要记住，当你将电容器串联时，总电容只有单个电容器电容的一半。因此，你需要两个 220 μF 的电解电容器串联，才能得到一个 110 μF 的电容。见图 5-38。

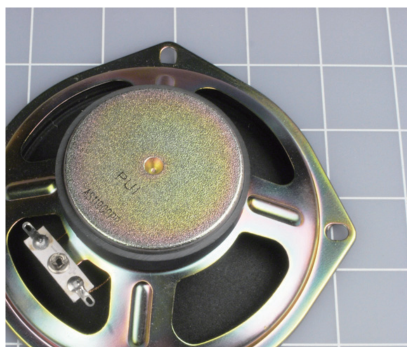


图 5-35 为了听出利用线圈和电容器进行音频滤波的效果，你需要一个可以再现低频的扬声器。这种式样的 5 in 扬声器是最低要求

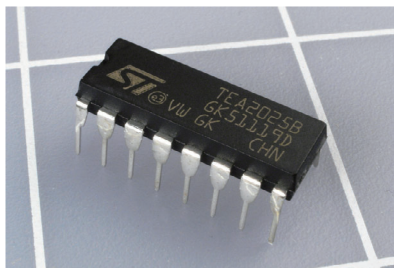


图 5-36 这个单芯片的立体声功放在两个声道组合在一起时，可以往一个 8 Ω 的扬声器上输出总共 5 W 的功率

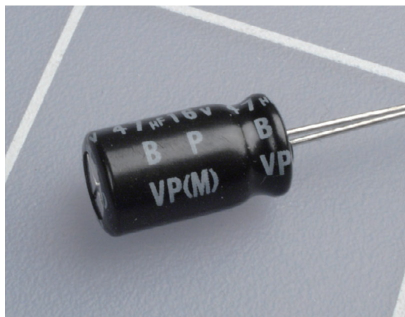


图 5-37 这是一个非极化电解电容器，也称双极性电容器，其样子跟电解电容器相同，只是它上面印有 NP 或 BP 字样

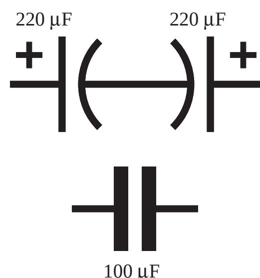


图 5-38 将两个常用的电解电容器串联起来，可以做出一个非极化电容器（实际上，如果你打开一个实际的非极化电容器，看到的正是这种情况）。下面的符号粗略地等效于上面的一对符号，只是需要记住的是，串联起来的两个电容器的总电容只有单个电容器电容值的一半

- ❒ 电位器，100 kΩ（如果可能，请选用有音频抽头的），数量：1 个。
- ❒ 线圈，用于分频网络的那种，数量：1 个。你可以在 eBay 这样的地方搜索“crossover”（分频）和“coil”（线圈）这两个关键词，不过当你找不到价格合适的线圈时，可以用一卷 100 ft 长的 20 号线规的连接线将就一下。
- ❒ 塑料鞋盒，数量：1 个。

步骤

音频放大器芯片的作用在于提供足够的功率，以便能够从扬声器中发出像样一点的声音。使用 5 in 扬声器的目的，是为了让你能够听到更低频的声音（比我们前面使用的小扬声器的低频更低）。低音调具有较长的波长，小的扬声器不能有效地产生这种声音。

也许你还记得，在搭建入侵报警器电路时，如果你能够阻止扬声器锥体后部发出的声波抵消锥体前方发出的声波，那么扬声器就能够发出更大的声音。达到这个目标的最明显的方法就是把扬声器放在一个盒子里。我建议使用塑料盒子，因为塑料盒子便宜，而我们除了想要听到一些低频音之外，并不怎么在意声音的质量。图 5-39 显示了扬声器被螺钉固定在塑料盒子底部时的情况，而图 5-40 则显示了盖好盖子，将盒子翻转后的情况。

一般来讲，扬声器应该安装在厚而重的材料制成的箱体里，这种箱体应该具有极低的谐振频率——低于人类听觉频率的下限。为了使鞋盒

的谐振最小，在盖上盖子之前，你可以在里面放入一些柔软、沉重的织物。一条手巾或几只袜子就足以吸收一些振动。



图 5-39 如果你希望能够从扬声器中听到一些低音（低频）的话，谐振盒是必不可少的。对于演示来讲，一个廉价的塑料鞋盒就足以满足要求

加入放大器

回溯 20 世纪 50 年代，那时人们需要真空管、变压器以及其他要消耗大量电力的元件才能制作出音频放大器。而到了今天，你可以购买一片大约 1 美元的芯片，在它周围加上几个电容器以及一个音量控制，就可以完成同样的工作。我所推荐的 TEA2025B 芯片是专用于廉价的便携单放机和 CD 机的，可以工作于立体声模式和单声道模式，供电的允许范围宽达 3 V 到 9 V。在 9 V 供电并且将芯片的两侧连接起来驱动单个 8 Ω 的喇叭时，它可以产生 5 W 的音频功率。比起每个声道的额定功率为 100 W 的普通家庭影院系统来，5 W 的功率算不得什么，不过由于响度采用的是对数刻度，5 W 的功率已经足以刺激房内的每个家庭成员，甚至会刺激其他房间的人。



图 5-40 在盒子的底部钻一些 0.5 in 的孔，然后用螺钉将扬声器安装到位，并通过盒子一端的一个孔布一条线。盖上盖子，你就有了一个不是特别高保真的音响

如果找不到 TEA2025B 芯片，可以用任何其他的音频放大器芯片来代替。试着找一个用于驱动 8 Ω 扬声器、在单声道模式下最多可以输出 5 W 的芯片。请查看制造商的参数说明书，弄明白电容器的连接位置。请特别注意其中有些电容器是不是没有极性标记（虽然它们的容值可能很高，例如为 100 μF）。不论交流电流向哪个方向，这些电容器都必须能够正常工作，在电路原理图 5-41 中，我给这些电容标上 NP 字样，表示它们是“非极化的”［在产品目录中，你也许会发现它们被标记为

bipolar（双极性）或 BP]。如同购物清单中注明的，你可以将两个 220 μF 的电容器按照负端对负端的方式串联起来，得到单个 100 μF 的非极化电容器同样的效果。

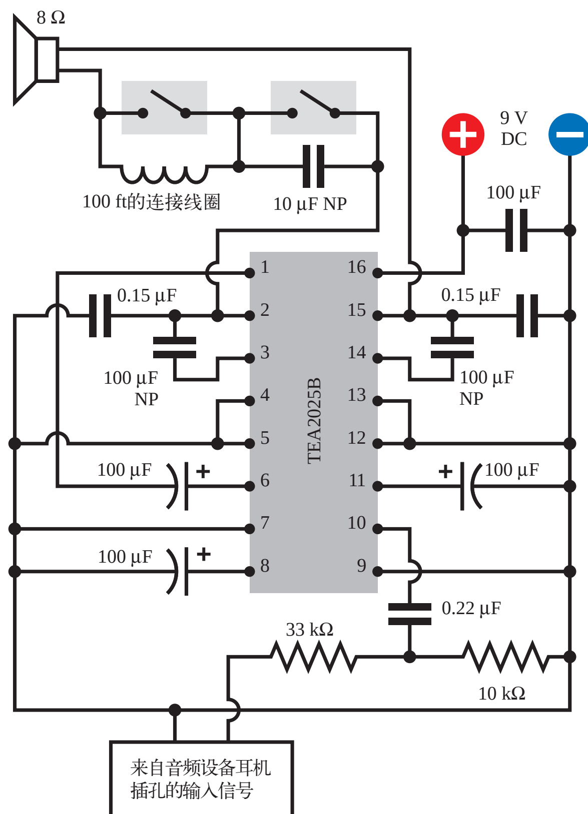


图 5-41　音频放大器芯片周围需要按照图中的样子连接电容器，其中 NP 表示非极化电容器。BP 表示双极性，也常用来表示同一个意思。可以让芯片的引脚 2 和引脚 15 的输出通过一个线圈或者一个 10 μF 的电容器，以演示音频滤波

在这个实验项目中，必须在供电电源的两端接一个常用的 100 μF 电解电容器，否则放大器将拾取到电路中的微小电压尖峰并将其放大。

图 5-42 所示电路原理图中的输入可以接收一般媒体播放器（例如便携式 MP3 播放器、CD 播放器或单放机）的信号。为了连接耳机插孔与面包板，你可以使用一个转接器将耳机插孔转换成一对 RCA 型的音

频插孔，然后如图 5-42 那样从其中一个插孔上接出一根导线。再将该导线连接到面包板电路中 33 kΩ 的电阻器上。RCA 插座上镀铬的颈部（有时是镀金的，或者至少是金色的）必须连接到面包板上供电电源的负端，否则你将听不到任何声音。你可以忽略转接器上的第二个输出，因为我们的电路工作于单声道而不是立体声模式。

33 kΩ 的电阻器用于防止放大器过载，是必不可少的。如果你无法从你的音乐播放器得到足够大的音量，那么可以减小 33 kΩ 电阻器的阻值。如果音乐过大或失真，可以增大该阻值。你也可以试着将其旁边的 10 kΩ 电阻器忽略掉或者增大其阻值，引入这个电阻的目的是为了降低背景的交流噪音。



图 5-42　为了对来自音乐播放器的耳机插座的输出进行采样，你可以采用这个转换器，并将一根连接线的剥去绝缘层的一端压入其中的一个插槽中。然后再使用带鳄鱼夹的跳接线将声音信号连接到你的面包板电路。不要忘记用另外一根跳接线来将插孔的外部连接到面包板供电电源的负端。因为我们仅仅使用一个扬声器，放大器仅仅连接到你的播放器的立体声输出的一个声道。另一个被忽略了

我在电路原理图的上部画了两个开关：一个用来短路线圈，一个用来短路电容器。你也可以用鳄鱼夹来代替开关，只要方便你比较将这两个元件分别插入到电路以后的声音就可以了。

图 5-43 所示为使用一卷连接线来组成线圈的情况。躺在鞋盒顶部、尚未夹东西的红色和黑色鳄鱼夹将连接到芯片的输出（引脚 2 和引脚 15）。这里不存在极性的问题，哪个夹子连接到哪个引脚都没有关系。



图 5-43　鞋盒顶部的红色和黑色鳄鱼夹应该连接到你的放大器芯片的输出引脚。红色的跳接线把通过（连接线构成的）线圈的信号送往扬声器。请注意，当你把线圈短路之后声音发生的改变

在加电源之前，先将音乐来源的音量控制旋到最小。在开通放大器的时候，如果你听到嗡嗡或噼啪的噪音，请不要惊讶，它会拾取任何的杂散电压，因为在这个简单的实验中，我并没有建议你对输入进行屏蔽，由于放大器电路的导线可以起到天线的作用，因此会拾取噪音。

请注意，如果你在一个导电性的桌面上使用放大器，你还可能受到一些其他噪音的干扰。请将这个实验项目中的铝箔和导电性泡沫拿走。

让你的播放器播放音乐，并且缓慢地调高其音量直到你能够听到音乐为止。如果你什么都没听到，那你就必须检查一下看看电路有无错误。

接下来是这个实验中有趣的部分。将 100 ft 的连接线卷接在放大器的一个输入端和扬声器的一个输出端之间（到底用哪端无关紧要），如果你使用的是开关的话，请断开那个将线圈短路的开关。你将发现音乐中没有了所有的高频段的响应。作为对比，如果你去掉线圈，代之以一个 10 μF 的电容器，你将发现音乐的声音变得“尖细”，表明其中没有了所有的低频部分，剩下的只是高频。

你刚刚测试了两种十分简单的滤波器，以下是它们的功能。

- ❒ 线圈是一个低通滤波器。它通低频阻高频，因为短周期的音频没有足够的时间去克服线圈的自感。线圈的自感越大，消除的频率范围就越宽。
- ❒ 电容器是一个高通滤波器。它通高频阻低频，因为较长周期的音频会使电容器充满电，然后电容器就不能通过电流了。电容器的电容越小，消除的频率范围就越宽。

你可以更深入地去了解滤波器的设计，可以使用线圈和电容器的复杂组合来阻断音频频谱中任意点的频率。在网上搜索音频滤波器的话，你会找到成百上千的结果。

分频网络

在传统的音响系统中，每一个音箱有两个驱动：一个是小扬声器，称作**高音喇叭**，它重现高频的声音；另一个是大扬声器，称作**低音喇叭**，它重现低频的声音（现代的音响系统常常将低音喇叭拿出来，放在一个独立的盒子里，这个盒子可以放在几乎任何地方，因为人耳很难听出低频声音的方向）。

你刚刚看过（并且可能还根据它制作过电路）的电路原理图就是所谓的“分频网络”，真正顶尖的音响发烧友都会制作他们自己的分频网络（尤其是用于汽车音响系统的那种），他们会自己设计，并制作音箱箱体，自己选择扬声器。

如果你要制作一个分频网络，就必须使用高质量的聚酯电容器（它没有极性，比电解电容器耐用，做工更好），并使用正确匝数和正确尺寸的线圈在恰当的频率点分割出高频。图 5-44 所示即为一个聚酯电容器。

图 5-45 所示为一个音频分频线圈，是我在 eBay 上花 6 美元买到的。我很好奇它里面到底是什么，因此我买了两个，并拆解了其中的一个。

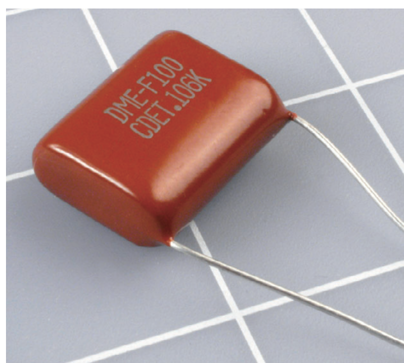


图 5-44　有些非电解电容器没有极性，例如图中的这个高质量的聚酯薄膜电容器。然而它们一般都比较昂贵，并且很难找到容值高于 10 μF 的


图 5-45　这个高端音频器件用在亚低音喇叭中，用来阻断高频。在它里面我们会找到什么奇特的元件呢

首先我剥除了包裹在线圈外面的黑色乙烯树脂绷带。里面就是典型的漆包线——涂有薄薄一层清漆或半透明塑料的铜线，如图 5-46 所示。我解开这些导线，并记录了匝数。然后测量了导线的长度，最后使用千分尺测量了导线的直径，并在网上找到了一个转换器将密尔（0.001 in）的直径转换成美国标准的线规号。

至于卷筒，它是普通塑料制成的空心卷筒——没有铁芯也没有磁芯。图 5-47 所示为相应的卷筒和导线。

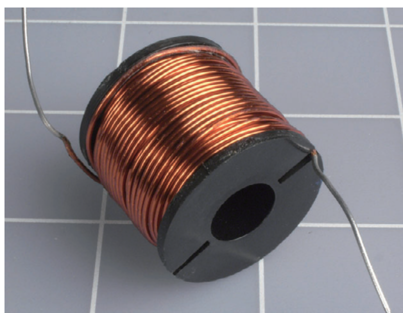


图 5-46 去掉黑色的绑带之后，露出了一个漆包线做成的线圈



图 5-47 音频分频线圈由一个塑料卷筒和一些导线组成，此外并无其他东西

我买的这个是用于音频分频网络的线圈，其参数如下：20 号线规的铜质漆包线 40 ft，绕在卷筒上的匝数为 200 匝，卷筒由 0.0625 in 的塑料做成，卷筒两个法兰之间的长度为 0.875 in，卷筒的外径为 0.5 in。如果单独购买材料的话，材料的总零售成本也许有 1 美元，不过你必须能够找到或者自己制作出一个尺寸合适的卷筒。

结论：音响元件中有许多奥妙。它们往往定价过高，你可以依据我给的这些参数制作自己的线圈，并对参数进行调整来满足自己的需求。

假定你想在自己的车中装一些庞大的低音喇叭。你可不可以自己搭建滤波器，以使它们仅仅重现低频呢？绝对可以！你只需绕一个线圈，并增加其匝数，直到其能够截掉你选定的高频为止。只是要确保线圈的导线足够粗，免得当 100 W 甚至更高的音频功率通过它时线圈变得过热。

请考虑这样一个实验项目：彩色风琴。你可以将你的立体声输出信号提取出来，使用滤波器将音频信号分成三个部分，每个部分驱动一组独立的彩色 LED。让红色的 LED 随着低音闪烁，黄色的 LED 响应中频范围，绿色的 LED 响应高频范围（当然也可以选用你自己喜欢的任何颜色）。你可以将信号二极管与 LED 串联，来对交流进行整流，并串联电阻器来将 LED 上面的电压限制在某个数值（例如 2.5 V）以下（当音乐的音量调到最大时）。你应该使用万用表来测量通过每个电阻器的电流，乘以电阻器上的电压降，从而找到电阻器所处理的功率，要确保电阻器能够处理这么大的功率而不会烧坏。

如果你喜欢设计和搭建自己的电子电路的话，音响是一个可以提供各种可能的领域。

理论知识

波形

如果你沿着一个瓶子的顶部往里吹气，你所听到的柔美声音是由瓶子里面的空气振动引起的，如果你能够看到空气的压力波的话，其形状是很特别的。

如果你能够让时间慢下来，画出你家中任何一个电源插槽中的交流电压的变化图形，它也将具有同样的形状。

如果你能够测量一个在真空中缓慢前后摆动的单摆的速度，并绘出一个速度相对于时间变化的图形，它也将具有相同的形状。

这种形状就是正弦波，之所以这样称呼它，是因为可以从基本的三角学知识推导出它的表示。在直角三角形中，一个角的正弦等于该角所对的边长除以斜边长。

为了简单起见，让我们想象一个球系在一根弦上，绕着一个中心点旋转，如图 5-48 所示。忽略地球引力、空气阻力以及其他讨厌的变量。当球以恒定的速度绕着圆形路径移动时，定期测量球的垂直高度，并除以弦的长度。将结果绘制成一个图形，所得的就是正弦波，如图 5-49 所示。需要注意的是，当球旋转到水平线下方时，我们将其垂直距离看成负的，因此正弦波也变成了负的。

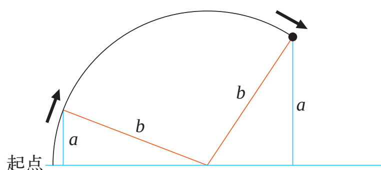


图 5-48 如果在一根长度为 b 的弦的端部有一个重物，以恒定的速度做圆周运动，重物到中央的水平线的距离 a 可以绘制成相对于时间的图形。这个图形将是一个正弦波，之所以这样称呼它，是因为在三角学原理中，a/b 的比值等于（从旋转中心测得的）直线 b 和水平基线之间的夹角的正弦。正弦波在我们周围的世界里自然地存在着，尤其是在音频再现和交流电中

为什么这个特别的曲线会出现在如此多的地方，并在自然界中表现出这么多的形式？其中有一些源自物理学的原因。对此感兴趣的读者，我建议他们自己去探索一下这些主题。让我们回到音频再现的主题，重要的是以下

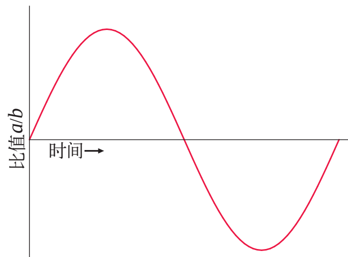


图 5-49 这是“纯粹的”正弦波

两点。

❒ 任何声音都可以分解成不同频率和幅值的正弦波的混合。

或反过来说，

❒ 如果将适当的音频正弦波放到一起组合起来，你就可以创制出任何的声音。

假定现在同时播放两个声音。在图 5-50 中，一个声音显示为红色，另外一个声音显示为浅蓝色。当这两个声音作为压力波在空气中传播或者作为交流电流在导线中传播时，波形的幅值会相加到一起，形成一个更为复杂的曲线，如图中的黑色曲线所示。现在试想有几十个甚至数百个不同的频率相加在一起，这样你就能够理解音乐的复杂波形了。

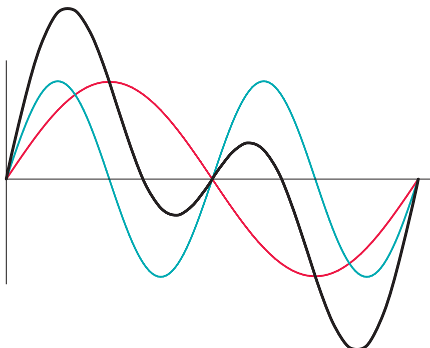


图 5-50　当两个正弦波产生于同一时刻（例如，两个音乐家各吹一杆笛子），组合起来的声音将产生一个复合的曲线。蓝色正弦波的频率为红色正弦波频率的两倍。合成曲线（黑色）等于两个正弦波到图形基线的距离之和

你可以用图 5-51 所示基本的非稳态 555 定时器电路来创制自己的波形，以作为音频放大器的输入。不过必须小心，不能让放大器的输入过载。请注意在定时器的输出引脚上有一个 680 kΩ 的串联电阻器。也请注意我们使用了一个 500 Ω 的电位器。

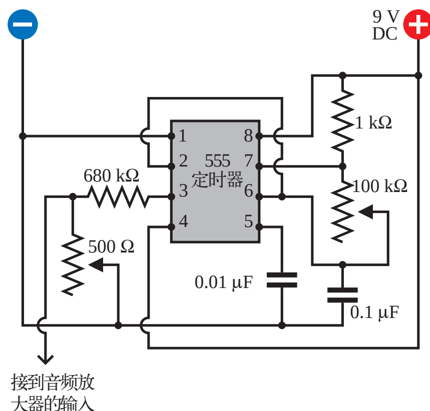


图 5-51　我们将 555 定时器接成非稳模态，利用图中所示的参数，当调节 100 kΩ 的电位器时，可以产生一个很宽范围的音频信号。在输出经过功率降低之后，可以将其馈送给前面使用的那个放大器芯片

断开你的音乐播放器，将 555 定时器电路的输出连接到图 5-41 所示的放大器

电路的输入点（33 kΩ 电阻器）。你不必担心要不要在负端建立一个独立的连接，只要 555 定时器共享同一块面包板以及面包板上电源的负端就行了。

请确保 500 Ω 的电位器是调到底的（零电阻），以将定时器的输出和电源的负端短接起来。它将作为你的音量控制旋钮。此外也请确保 100 kΩ 的电位器位于其电阻值范围的中间。然后接通电源，缓慢地往上调节 500 Ω 的电位器，直到你听到一个音调为止。

现在调节 100 kΩ 的电位器，以产生一个低音调。你将发现这并不是一个“纯粹的”声音。其中有一些蜂鸣的高调。这是因为 555 定时器产生的是图 5-52 所示的那种方波，而不是正弦波，而方波实际上是许多不同正弦波之和，其中有些具有很高的频率。尽管当你观察一个方波的波形时，其中的谐波并不是显而易见的，但是你却能够听出这些谐波来。

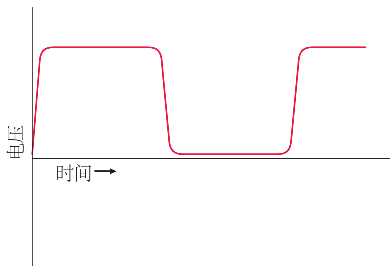


图 5-52 555 定时器的输出要么是“通”，要么是“断”，这两个状态之间的切换十分迅速。其结果是一个几近完美的方波。从理论上讲，它可以分解为复杂的一组正弦波，包含着许多频率。高频分量在人听起来就是刺耳的高音

让连接到扬声器的某一根线先通过你的连接线卷，现在你应该可以听到一个更加纯粹的音调，因为蜂鸣的高频已经被线圈的自感阻断掉了。拿掉线圈，代之以一个 10 μF 的电容器，现在你将听到更多的蜂鸣声，而听不到什么低音。

你刚刚已经往声音合成的方向前进了一小步。如果你对这个主题很有兴趣的话，你可以到网上去搜索一下振荡器电路。为了彻底了解波形和你听到的声音之间的关系，你非常需要一个示波器，它可以显示出你所产生和修改的每一个波形的形状。

实验 30　哑音器

让我们对实验 28 中的电路再做一次更改，其目的是为了说明另一个基本的音频属性——失真。

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 增加一个 100 kΩ 的电位器。
- ❒ 基本的 NPN 晶体管，2N2222 或类似的，数量：2 个。
- ❒ 各种电阻器和电容器。

背景知识

削波

在“高保真”音响的早期岁月里，工程师们需要进行大量工作来保持声音再现过程的完美。他们希望放大器输出端的波形跟输入端的波形看起来一样，唯一的不同只是输出应该更大，以便有足够的功率来驱动扬声器。即使是一丁点儿的波形失真也是不可接受的。

他们完全没有想到，他们设计完美的电子管放大器会被新一代的摇滚吉他手滥用，这些吉他手的目的是要产生尽可能大的失真。

最常见的波形失真形式在技术上称作“削波”。在放大正弦波时，如果你让电子管或晶体管超出它们的放大能力，它们就会“削除”曲线的顶部和底部。这将使波形看起来更像方波，根据我对波形的解释，方波具有刺耳、蜂鸣的音质。由于摇滚吉他手希望在他们的音乐中添加一个高音频段，因此刺耳的声音正是他们所需要的特征。



图 5-53　这个 Vox 牌的 Wow-Fuzz 脚踏板是一种早期脚踏盒（哑音盒），它故意产生出的失真正是音响工程师们在几十年中一直想要设法除掉的

第一个提供这种功能的商品化的小玩意儿是一个叫做“fuzz box”（哑音盒）的东西，它故意将输入信号进行了削波处理。一个早期的哑音盒如图 5-53 所示。正弦波的削波

如图 5-54 所示。

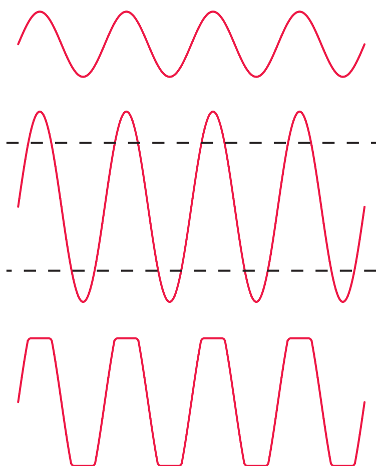


图 5-54 当正弦波（顶图）通过一个放大器时，如果放大器运行到了超出其元件极限（虚线所示，中图）的状态，放大器会削掉一些波形（底图），这个过程称作“削波”。最后的结果接近于方波。通常用来产生刺耳的吉他声的混音器正是基于这个基本原理

电路原理图

555 定时器的输出是一个方波，因此它发出的声音本来就已经相当“模糊不清”了，不过我们可以使它的强度更大，以展示削波原理。由于已经改变了好几个元件，因此我在图 5-55 中重新绘制了整个电路。主要的改变是添加了两个 NPN 晶体管。

如果你在面包板上搭建这个电路，请特别注意位于放大器芯片底部的 33 kΩ 和 10 kΩ 的电阻器已经去掉，在该位置现在仅有一个 820 Ω 的电阻器。邻近的 0.22 μF 电容器的底部仍然是放大器的输入点，如果跟踪一下从这一点连到电路原理图中央的连接，你将发现它连到了一个 100 kΩ 的电位器上。这个电位器就是你的“哑音调节器”。

两个 NPN 晶体管的使用情况为：左边的那个用来接收 555 定时器的输出，这个信号控制着由 33 kΩ 的电阻器流向晶体管的电流；这个电流进而又控制着右侧晶体管的基极，而通过这个晶体管的电流则最终控制着放大器。

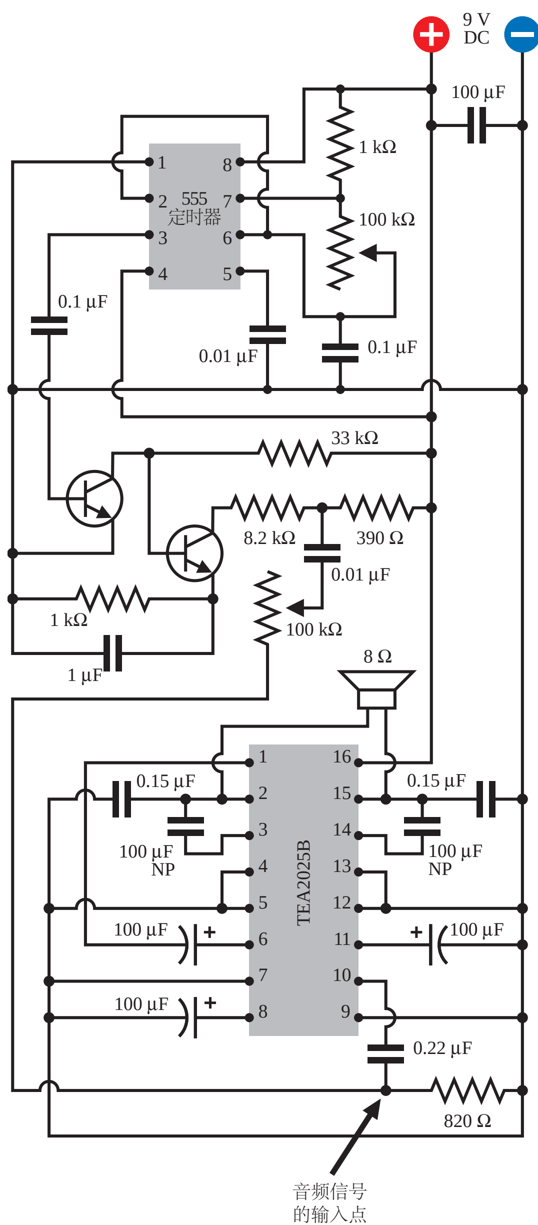


图 5-55　为了快速演示削波，我们在 555 定时器的输出和放大器芯片的输入之间插入一对晶体管。其中一个晶体管使另外一个晶体管过载，以便当你调节电路中央的电位器时，能够听到一个越来越刺耳、越来越失真的声音

给电路加电后，请用连接在 555 定时器上的 100 kΩ 电位器来调整频率（这跟以前是一样的），并旋转那个用作“哑音调节器”的电位器，以便细听出它在声音中加入的越来越大的“刺疼”感，直到最后变成纯粹的噪音。

这两个晶体管起着放大器的作用。当然我们并不需要它们起这个作用——因为放大器芯片的输入电平已经远高于我们的需要。左侧晶体管的作用仅仅是为了使右侧晶体管过载，以产生“哑音”效果。当你利用“哑音调节器”来将晶体管的输出调大时，最终就会使放大器芯片的输入过载，产生出更大的失真。

如果你想要调整输出，那么可以给位于右侧晶体管的发射极与电源负端之间的 1 kΩ 电阻器和 1 μF 电容器换上不同阻值和容值的电阻器和电容器。较大的电阻器阻值将使晶体管过载的程度降低。不同的电容器容值将使声音的刺耳程度增加或降低。

你真的可以在网上找到成千上万用来调整吉他声音的小玩意儿的电路原理图。我这里给出的电路只是最原始电路中的一个。如果你需要某种更加多功能的东西，那么应该在网上搜索“stomp box schematics”（脚踏盒电路原理图），并看看你到底能找到些什么。

背景知识

脚踏盒（效果器）溯源

冒险者乐团（The Ventures）于 1962 年录制了首个使用效果器的单曲，曲名是“The 2000 Pound Bee”。作为有史以来制作的最极端的乐器曲之一，由于它仅仅是单纯地利用失真的一种小玩意儿，因而使得许多音乐家们不肯接受它，把它当回事儿。

奇想乐队（the Kinks）的雷 • 戴维斯是第一个将失真作为音乐整体的一部分嵌入到自己音乐中的人。戴维斯最初采用的方法是将一个放大器的输出插入到另一个放大器的输入，这大约发生在他录制打击乐“You Really Got Me”的时候。这种做法导致输入过载，因而产生了削波——最基本的哑音概念。又经过了一小步的前进，就轮到凯斯 • 理查兹上阵了。当滚石乐队（Rolling Stones）在 1965 年录制“（I Can’t Get No）Satisfaction”时，凯斯 • 理查兹使用了一种叫做 Maestro

Fuzz-Tone 的 Gibson 牌的哑音器。

如今，你可以找到成千上万的倡导者，他们倡导多种多样的方法来实现“理想的”失真。在图 5-56 中，我选用了意大利电路设计者弗拉维奥・德列皮亚内的一个电路原理图。德列皮亚内在 Google AdSense 的少量帮助下，在网站 http://www.redcircuits.com 上公开了自己的电路。德列皮亚内是一个自学成才的人，他的主要知识都来自诸如英国的 *Wireless World* 之类的电子学杂志。在他的哑音电路中，使用了一个极高增益的放大器，它由 3 个场效应晶体管（FET）构成，十分逼真地模仿了过驱的电子管放大器的典型的圆角方波。

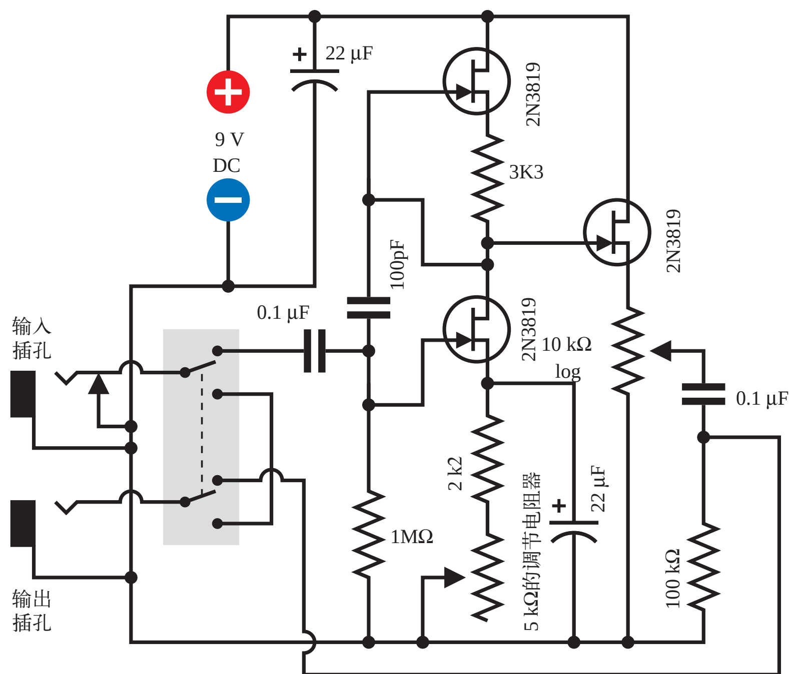


图 5-56 这个电路是由弗拉维奥・德列皮亚内设计的，它使用 3 个晶体管来模仿过去往往要通过对电子管放大器的输入进行过载才能产生出来的那种失真效果

德列皮亚内在他的网站上还提供了另外几十个电路原理图，这些电路都是在使用双综示波器、低畸变正弦波振荡器（以便他可以

给音频设备提供“干净”的输入)、畸变表以及精确的音频伏特表的情况下开发的，并应用这些仪器进行了测试。其中的最后一项工具以及振荡器是根据他自己的设计制作出来的，并且他也公开了它们的电路原理图。因此，他的网站为家用音响电子爱好者们在搜索自学资源的同时提供了一站式的购物服务。

在哑音器出现之前，已经有了震音器。许多人将其与颤音器混为一谈，因此我现在要介绍一下它们的区别。

- 当颤音器作用于一个乐曲时，频率会上下摇摆，就好像吉他手正在压弦一样。
- 当震音器作用于一个乐曲时，音量会发生波动，就像有个人在快速地忽上忽下地调节吉他的音量控制旋钮一样。

哈里·德阿蒙（Harry DeArmond）是第一个出售震音盒的人，他称自己的震音盒为 Trem-Trol。他的震音盒看起来像个便携式的古董收音机，前部有两个拨盘，顶部有一个提手。也许是为了降低成本，德阿蒙没有使用任何的电子元件。他的带有蒸汽朋克特征的这种 Trem-Trol 包含一个安装在锥形轴上的电机，有一个橡胶轮子压在轴上。当你转动一个把手，使轮子在轴上的位置忽上忽下时，轮子的速度也随着改变。轮子进而通过曲柄作用，驱使一个装有“水性液体”的小室发生移动，在这种水性液体中浸泡着两根导线，它们承载着音频信号。随着小室来回滚动，液体像醉汉一样从一边倒向另外一边，两根电极之间的电阻就发生波动，因而对音频输出起到了调制作用。

如今，Trem-Trols 已经成了收藏古董。当工业设计家丹·福莫萨（Dan Formosa）得到一台之后，将其照片贴在了 http://www.dan-formosa.com/dearmond.html 上。而约翰·伯卡德（Johann Burkard）则在 http://johannburkard.de/blog/music/effects/DeArmond-Tremolo-Control-clip.html 上贴出了用他收藏的德阿蒙 Trem-Trol 制作的一段 MP3，以便大家可以实际听到它的效果。

用机械的方法来实现电子音效并不止于此。最初的哈蒙德牌风琴就是利用由一个电机转动的一组有刷轮子来获得其独特而丰富的

声音的。其中的每个轮子会使一个传感器中的电感产生波动，这些传感器就像磁带播放器中的录音头一样。

我们很容易想出其他利用电机驱动音效器的可能。回到震音器的例子：设想有一个透明的碟子被黑色的涂料遮挡着，只有一块两端收窄的环条区域例外。当碟子旋转时，如果你通过这个透明条将一个点亮的LED照射到一个光敏电阻上，那么你就得到了一个震音器的雏形。通过换用具有不同环条样式的碟子，你甚至可以产生出以前从来没有听到过的震音效果。图5-57和图5-58所示的是我脑袋里想到的这类东西。作为一个实际的制造挑战，怎样才能实现自动换碟呢？

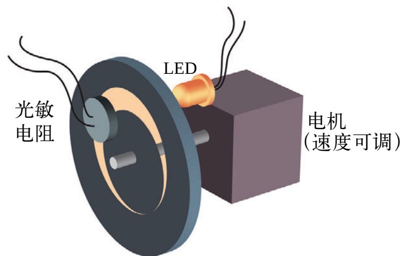


图5-57　尽管机电式的音响设备现在已经淘汰了，然而有些未知的可能性仍然存在着。图中的这个设计将可以产生出不同的震音效果，前提是有人能耐心搭建这个电路

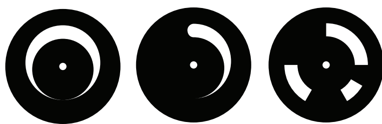


图5-58　不同的环条式样可以和图5-57中假想的机电设备相配合，产生出不同的震音效果

如今的吉他手有大量的音效可供选择，并且全部都可以根据从网上找到的方案来自己制作。作为参考，请试试下面这些特别有趣的书籍。

- *Analog Man's Guide to Vintage Effects*，Tom Hughes著（For Musicians Only Publishing出版，2004年）。这本书可以为你能够想到的每一个古典效果盒和脚踏盒提供指南。
- *How to Modify Effect Pedals for Guitar and Bass*，Brian Wampler著（Custom Books Publishing出版，2007年）。这是一本特别详细的指南，适合于没有或者只有一点基础知识的初学者。目前这本书只能从http://www.openlibrary.org之类的地方下载得到，不过如果你用这个书名和作者名进行搜索的话，你也许可以从二手卖家处找到一些老版本。

当然，你也可以永远走捷径。你只需留下几百美元，买下一台像 Boss ME-20 这种商店里有现货供应的东西，它使用数字处理技术来模仿失真、金属、哑音、合唱、移相、镶边、震音、延迟、混响以及其他许多效果，并且全部包含在一个便利的多脚踏组件中。当然，极端的发烧友会说它发出的“声音不好”，但是这也许并没有说到点子上。其实他们中有些人除非制作了自己的效果盒，并对其进行了调试，找到一个不是从买来的效果器中发出来的声音，而是完全属于他们自己的声音，否则他们是无法得到满足的。

实验 31 无电源、无焊接的收音机

现在让我们再次回到电感和电容，我将给大家演示一个应用，这个应用也会用到波形彼此叠加的原理。我想要给你演示一个根本没有任何电源的简单电路是如何可以接收到 AM 无线电信号，并且还可以使这个信号听得到的。这个东西通常称作晶体管收音机，因为电路中有一个锗二极管，它里面有（锗）晶体。尽管其原理可以追溯到无线电刚刚出现的年代，但是如果你从来没有试过它的话，那你就错过了一个真正魔幻般的经历。

以下是你需要用到的东西。

- ❐ 坚硬的圆柱体，譬如一个维他命瓶子，数量：1 个。
- ❐ 22 号线规的跳接线，实心的，数量：60 ft。
- ❐ 16 号线规的导线，多股绞合的，数量：100 ft。
- ❐ 聚丙烯绳子或尼龙绳子，数量：10 ft。
- ❐ 锗二极管，数量：1 个。
- ❐ 高阻抗耳机，数量：1 副。

二极管和耳机可以到 http://www.scitoyscatalog.com 这个网站去订购。不能使用现代的耳机（譬如你听 MP3 播放器时所戴的那种耳机）。

上面的部分东西如图 5-59 所示。

首先，你需要制作一个线圈。其直径应该大约为 3 in，可以绕在任何满足大小要求的空玻璃瓶或者塑料容器上，只要坚硬就可以了。苏打水瓶和水瓶不合适，因为积聚起来的线圈压力会将瓶子挤变形，使其不

再是圆的。

我选择了一个维生素瓶子，它正好是我所需要的尺寸。为了去掉标签，我先用热风枪来使它的黏合剂熔化（请轻微加热，以免熔化瓶子），然后再揭掉标签。黏合剂会有些遗留，我用二甲苯来去掉这些遗留的。二甲苯是日常生活中一种很有用的溶剂，它可以去掉“永久性的”斑迹污点以及黏性的残余物，不过应该戴上乳胶或丁腈橡胶手套来避免皮肤接触它，并且要尽可能少地让自己暴露在其烟气中。由于二甲苯将溶解一些塑料，这显然对你的肺不利。

在准备好一个干净、坚固的瓶子以后，在它上面钻两对孔，如图 5-60 所示。你将用它们来固定线圈的两端。



图 5-59　只需再添加导线和一个线圈，你就可以接收到 AM 无线电信号了。（下方的）黑色圆盘用作调谐的刻度盘，需要用螺钉将其固定在（右侧的）可调电容器上。这实际上是附加的一个可选项。（中央的）一个锗二极管用来对无线电信号进行整流。（上方的）高阻抗耳机会产生出一个刚刚可以听到的声音



图 5-60　一个大的、3 in 直径的空维生素瓶子可以作为晶体管收音机线圈的一个理想的芯筒。上面钻的孔用来固定绕在瓶子上的导线

现在你需要大约 60 ft 长的 22 号线规的实心导线。如果你使用的是漆包线，由于其绝缘层很薄，因此匝间会更加紧密，线圈的效率也许会稍微高一些。不过也可以用日常的聚乙烯绝缘线，并且这种绝缘线绕起来还更加容易。

先将导线一端 6 in 长的绝缘层剥掉。再从有绝缘层的地方开始，量取 50 ft 导线，然后用剥线刀从该位置割断绝缘（但不要割断导线）。用你的两个大拇指甲将绝缘层分开，露出大约 0.5 in 的裸线，如图 5-61 所示。在中点折弯裸线，并将其扭曲成一个环，如图 5-62 所示。

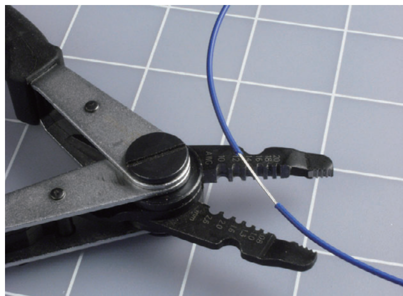


图 5-61 沿着 22 号线规的导线，利用剥线器以一定的间隔将实心的导体暴露出来



图 5-62 利用尖鼻钳将每个暴露的导线部分扭曲成一个环

你刚刚制作了一个“分接头”，也就是在线圈绕好之后，你可以连接到线圈上的一个连接点。你还需要另外 11 个这样的分接头，它们两两分开的距离是 50 in（如果你用来作为线圈芯筒的瓶子不是 3 in 的直径，那么将其直径乘以 16 可以得到分接头之间大致的间隔）。

在做好了 12 个分接头之后，切断导线，并在终端剥去 6 in 的绝缘。然后将裸露的端部弯成直径大约为 0.5 in 的 U 形，以便导线可以穿过你在瓶子的一端所钻的一对孔。将导线拉过去，然后再绕一圈，形成一个牢固的固定点。

现在将导线的其余部分绕在瓶子上，要拉紧导线以使线圈各匝紧靠在一起。当绕到导线的端点时，让其穿过剩余的一对孔以实现固定，如图 5-63 所示。最终完成的线圈如图 5-64 所示。

下一个步骤是搭建一根天线。如果你居住的房子外面有一个庭院，这将很容易做到。只需打开窗户，往外抛出一卷 16 号线规的导线（要把导线的自由端握在手里不放），然后走到外面，用聚丙烯绳子或尼龙绳子（在任何五金店都可以买到）将你的天线悬挂起来，可以悬挂在任何的树上、沟槽上或柱子上。这个导线的总长度应该大约为 100 ft。在导线穿过窗户时，也要将其悬挂在另一根较长的聚丙烯绳子上。这样做的用意在于让你的天线远离地面或远离任何可能接地的物体。

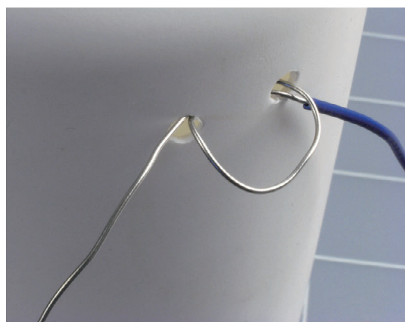


图 5-63　让剥掉绝缘层的导线端部穿过钻在瓶子上的孔，从而使导线的端部得到固定

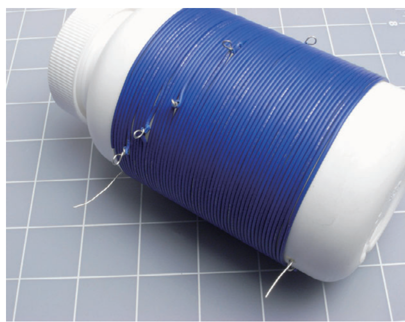
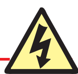


图 5-64　最终完成的线圈紧紧地绕在瓶子上

如果你居住在没有庭院的公寓里，你可以试着绕着你的房间布置天线，多用几根聚丙烯绳子来悬挂导线。天线还是需要大约 100 ft 的长度，但是它显然无法布置成直线。

将天线的自由端连接到线圈的一端。在这一点处，你还要加入一个锗二极管，它的功能跟硅二极管是一样的，只不过它更适合于我们将要处理的这种微小的电压和电流。二极管的另一端要接在连接高阻抗耳机的两根导线中的一根上。**在这个电路中，普通的现代耳塞或耳机不能工作**。耳机的另一根（返回）线将连接到一根跳接线上，跳接线的另一端可以夹在你的线圈的任何一个分接头上。



高电压!

我们周围的世界到处都是电。通常我们意识不到电的存在，但是雷暴可以猛然提醒我们，在地面和上面的云层之间，存在着巨大的电位差。

如果你布置了一根室外天线，那么在可能存在雷击的时候千万不要使用它，这将是极端危险的。请断开天线的室内端，将导线拖到室外，并且将导线的端部插到地里以确保安全。

再完成最后一项修改，你就可以进行调谐了。这个修改就是，你必须将跳接线接地。我这样说的意思是，要将它连接到某样真的在地里面的东西上。冷水管是最常提到的选项，但只有当管子是由金属制成的时候，这个方法才有效果。由于如今的许多管道工程使用的都是塑料管，因此在你想用水龙头来接地时，请先检查一下在汇总的地方用的是不是

铜管（或铁管）。

另一个选择方案是将导线接到一个电源插座外壳的螺丝上，因为家里的电气系统最终都是接地的。不过最可靠的接地方法是到室外去，将一个 4 ft 长的覆铜接地桩锤击到具有相当湿度的泥土中。如图 5-65 所示。任何电气百货店都有接地桩出售。它们常用来给焊接设备接地。

图 5-66 和图 5-67 所示为已经完成的收音机。

如果你已经能够按照以上的指令（无论哪种方法）行事，那么现在就可以调谐你的收音机到最近的电台了。将临时跳接线端部的鳄鱼夹从线圈上的一个分接头移到另一个分接头。取决于你所居住的地方，你也许只收到了一个台，或收到了几个台，其中有些是串台的。

在这里你似乎是做了无米之炊，因为耳机在没有任何电源的情况下产生了噪音。然而这里实际上有一个电源：位于无线电台的发射机。有一个巨大的放大器将功率用泵输往无线电广播塔，调制成一个固定的频率。当你的线圈和天线的组合与这个频率发生共振的时



图 5-65 利用超级简单的元件，不花任何电力，就可以接收无线电信号，这纯粹是一种乐趣

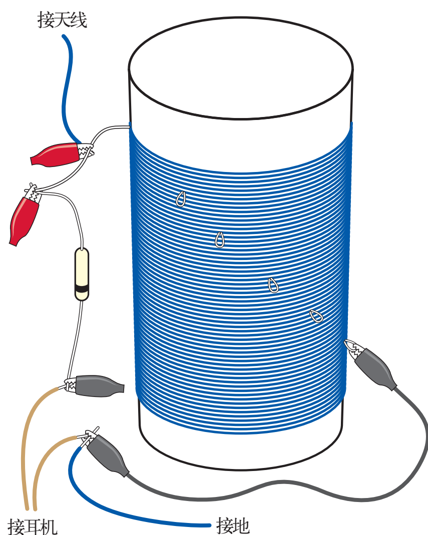


图 5-66 来自天线的信号通过线圈之后进入到地。如果跳接线所连的线圈分接头恰当，就会跟无线电信号发生共振，刚好足以驱动与一个二极管串联的耳机



图 5-67 图 5-66 的现实版本

候，你就会吸取足够的电压和电流来给一个高阻抗的耳机供电。

你需要建立良好接地的原因在于，无线电台是以相对于地的电压来广播它的信号的。地球接通了你和发射器之间的电路。如果你想进一步了解无线电在这个方面以及其他相关概念的信息，请阅读后面的“理论知识：无线电的工作原理”。

功能增强

你的天线越高，它工作得就越好。在我住的地方，这是一个很大的问题，因为我居住在沙漠地区，这里没有任何树木。不过，我仅仅将导线悬挂到窗外，并用绳子系在其末端，再将绳子系在我汽车的前保险杠上，竟然也接收到了微弱的无线电信号。

为了提高你的收音机的灵敏度，可以加入一个可调电容器，如下一节所示。这将使得你可以更精确地“调节”你的电路的共振。可调电容器如今已经不常见了，不过你可以在我推荐你购买耳机和锗二极管的同一个特殊商品来源（科学玩具目录网站：http://www.scitoyscatalog.com）购买到。

这个网站属于一个名叫西蒙・克尔兰・菲尔德（Simon Quellan Field）的精明人，他的网站上给出了许多有趣的实验项目，你都可以在家中完成。他的一个聪明点子是将你的收音机电路中的锗二极管去掉，代之以一个低功耗的 LED 和一个 1.5 V 的电池相串联。这个点子在我这里不起作用，因为我住的地方离最近的 AM 广播电台有 40 英里远。如果离发射台比较近，你也许可以看到随着广播功率的通过，LED 的发光强度随着变化。

理论知识

无线电的工作原理

当电频率很高时，它们产生的辐射就具有足够高的能量，可以传播数英里的路程。这正是无线电传输的原理：将一个高频电压施加在相对于地的广播天线上。

此刻我所说的“地”，意指我们脚下的这个地球。如果你搭起一个接收天线，它就可以从相对于地（就好像地球是一个巨大的导体一样）的传输中拾取到一点微弱的踪迹。事实上，地球是如此之大，包含着如此多的电子，它可以用作共同的电流汇，就像巨型版本的铁质文件柜一样（我以前建议你在接触 CMOS 逻辑芯片之前，都要先接触一下这样的文件柜，以去掉身体上的静电）。

如果要制作无线电发射器的话，我会使用一个 555 定时器，让其运行在很高的频率，譬如 850 kHz（每秒 850 000 个周期），并让这个脉冲流通过一个放大器后送到发射塔；如果有某种办法可以阻断空气中的所有其他电磁活动，你就能够检测到我的信号并将其再次放大。

这或多或少就是马可尼（Marconi）（见图 5-68）在 1901 年所做的事情。当时马可尼购买了爱迪生的无线电报专利，他使用原始的火花间隙（而不是今天的 555 定时器）来产生振荡。他的发射用途有限，因为它只有两种状态：通或者断。你可以用它来发射莫尔斯码，仅此而已。



图 5-68　无线电的伟大先驱马可尼（照片源自维基共享资源）

5 年以后，第一个真正的音频信号通过将较低的音频叠加在高频载波上的方法发射了出去。换句话说，音频信号被“加”到了载波频率上，使得载波的功率随着音频的波峰和波谷变化。

在接收端，电容器和线圈的一个十分简单的组合从电磁频谱中将载波频率从所有其他的噪音中检测出来。选择电容器的容值和线圈的电感，让电路在载波的频率下发生“共振”。图 5-69 和图 5-70 说明了这些概念。

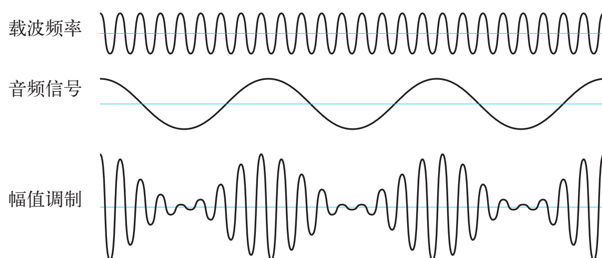


图 5-69　当一个音频信号（中间）通过电子的方式与一个高频载波（顶部）组合时，结果看起来就像底部的复合信号。在实际中，载波频率要比音频信号的频率高得多，比值也许高达 1000 : 1

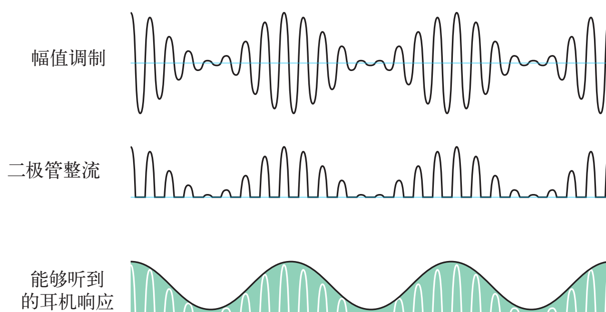


图 5-70　当复合的信号通过一个二极管时，只有上半部得以保留。耳机的反应不够快，无法再现高频载波，因此它“骑”在波峰上，从而把音频再现了出来

图 5-71 所示的这个电路原理图就是你把线圈绕在空维生素瓶子上做出来的那个简单电路。当天线接收到一个正脉冲时，只要天线足够长并且从线圈引出的分接头恰好位于合适的匝数，那么这个信号就会与天线以及线圈共振。

增加一个电容，你就可以对这个电路进行调谐。在加入电容之后，线圈的自感在开始时会阻断来自发射器的输入，与此同时电容器会充电。若一个幅值跟正脉冲相等的负脉冲在经过一段（与线圈

及电容器的参数值恰当同步的）时间间隔后达到，那么这个负脉冲将与电容器的放电以及线圈的导通在时间上巧合在一起。这样一来，载波的频率将使电路发生谐振。与此同时，信号强度上的音频波动则被转换成电路中的电压波动。

那么天线拾取到的其他频率又怎么样了呢？较低频率的分量通过线圈进入地了，较高频率的分量通过电容器进入地了。它们都被“抛弃”了。

在右边的一半电路里，信号通过锗二极管和耳机而被采样。来自发射器的信号在二极管将其负半波除掉之后，剩下的功率仅仅足够使耳机中的横膈膜振动。

返回去看看幅值调制信号的示意图。可以看到它上下波动十分剧烈，耳机不可能跟上其正负振动的步伐（因此才需要二极管）。耳机将犹犹豫豫地保持在高和低之间的中点，因而根本发不出任何声音。二极管将“音频包络线”的下半部分减去，仅仅留下正的尖峰电压，从而解决了以上问题。尽管剩下的信号仍然很小，变化很迅速，但它们现在都往同一个方向推动耳机的横膈膜，因此横膈膜会对它们进行平均化，近似地重构出原有的声波。

图 5-72 说明了如何用可调电容器来增强这个电路，从而无需改换线圈的分接头就可以对电路进行调谐。

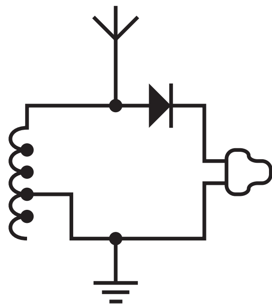


图 5-71　这个电路原理图顶部的天线拾取到微弱的来自远方发射器的电磁辐射。左侧的线圈以一定的间隔引出分接头，以便可以调整其共振频率来与无线电信号的载波频率匹配。其他频率的分量则（通过电路原理图底部）被接地抛弃了。二极管只允许信号的上半部分流通到右侧的耳机，这个耳机的速度不够快，无法再现载波频率，因而将载波过滤掉了，留下的只是载波上叠加的音频信号

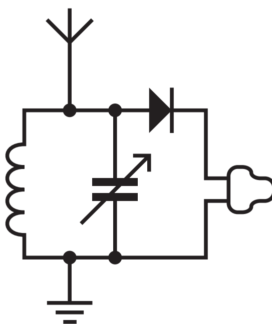


图 5-72　在电路中添加一个电容器后，就可以更加精确地调节电路的谐振。电容器上的对角箭头表示所用的是可调电容器

这个收音机可以收到你居住的那个区域中信号最强的那些 AM（调幅）波段的电台。波段的范围是从 300 kHz 到 3 MHz。如果你发现自己对无线电很感兴趣，那么你的下一个步骤是使用一对晶体管来制作一个有电源的收音机。此外，你也可以建立你自己（合法）的低功率 AM 发射器。在 http://www.scitoys.com 上可以买到一个超级简单的套件，它只包含两个主要元件：一个晶体振荡器，一个变压器，如图 5-73 所示。这就是 AM 发射器所需的全部元件。

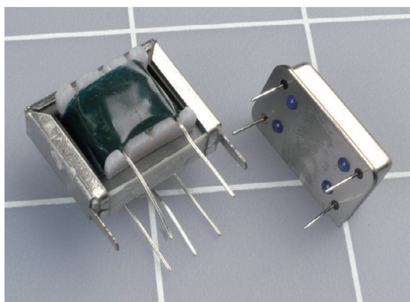


图 5-73 只需两个元件就可以制作出一个 AM 无线电发射器：一个变压器（左），一个晶体振荡器（右）。这都可以从 http://www.scitoys.com 买到

实验 32 机器人小车

机器人是电子学应用的另一个场合，这种应用可以写出一本甚至好几本书。因此，我这里同样只做入门性的介绍，然后点出几个要点，以便你可以由此进行深入了解。跟以往一样，我将从最简单的设备开始介绍。在机器人的世界里，这种最简单的设备就是可以在你的起居室中自己找到出路的小车。

以下是你需要的东西。

- 只需要微小压力就可以致动的单刀单掷或单刀双掷微型开关，所需的力在 0.02 N 到 0.1 N 之间比较理想，数量：2 个。见图 5-74。
- 直流齿轮减速电机，要求额定电压在 5 V 到 12 V 之间，空载状态下的最大电流为 100 mA，输出轴的转速为每分钟 30 转到 160 转之间，数量：1 个。如图 5-75 所示。

- ❒ 能与电机轴安全配合的圆盘或曲臂，数量：1 个。
- ❒ 555 定时器，数量：1 个。
- ❒ 双刀双掷非闩锁继电器，其额定电压应与电机相同，数量：1 个。
- ❒ 0.25 in 厚的胶合板或塑料片，2 ft 见方的一片。
- ❒ 4 号自攻螺丝，长度为 0.625 in 或 0.75 in，数量：2 打。
- ❒ 6 号螺栓，长度为 0.75 in，要求带尼龙嵌入的锁紧螺帽，数量：2 打。
- ❒ 0.25 in 的螺栓，长度为 1 in，带螺帽，用于安装轮子，数量：4 个。



图 5-74 微型开关的前部拥有一个小按钮（在本图中的右手侧），该小按钮往往由一个绕枢轴转动的金属杆来致动。这种开关能够对很小的压力做出响应，但是却可以处理相对较高的电流



图 5-75 我给机器人小车找到了这个 5 V 的电机，它带有一个安装在输出轴上的圆盘。这个组合的总成本不超过 10 美元

我没有指定具体的电机，因为如果我这样做的话，也许在你阅读本书的时候并不容易找到我指定的电机。电机不像逻辑芯片，逻辑芯片在几十年中经过许多的改进之后仍然会保持它们基本的功能。电机出现了一拨又一拨，在你曾经遇到的电机中，许多都含有可能再也见不到的超量部件。请在网上搜索“gear-motor”（齿轮电机）或“gear head motor”（齿轮减速电机），找一个跟我所提供的参数尽可能接近的。电机的机械功率输出并不是很重要，因为我们不需要它作很大的功。

在购买电机时，最重要的考虑是你应该同时获得某样可以安装在电机输出轴上的东西。通常这是一个圆盘或者曲臂，它可以用螺丝来固定。而后你可以在这个东西上安装更大的轮子，这种轮子可以用孔锯切

割出来，也可以用带螺纹的罐盖或你家里能够找到的任何圆形的东西来制作。

小车采用较大的轮子要比采用较小的轮子移动得更快，但这会降低转矩，因而限制其克服障碍的力量。

这将我带到了下一个议题——制造问题。本书是一本电子学的书，但电机却是机电设备，你必须达到能够将电机安装在某种机器上来获得某种有趣结果的地步。你可以使用胶合板来完成这里的两个小机器人项目，爱好者商店出售的那种薄薄的高质量胶合板就很理想，不过我推荐你使用一种看起来更好、也更容易处理的东西——ABS 塑料。在你开始机器人小车的项目之前，你也许想读一读“基础知识：关于 ABS”。

基础知识

关于ABS

除非你认为蒸汽朋克运动离我们的时代并不遥远，否则的话，你也许不会希望自己的自制机器人小车看起来就像一个来自 19 世纪的古董。因此，木头也许不是最好的制作材料。金属看起来很漂亮，但却不容易处理。为了快速得到具有 20 世纪外观（甚至于 21 世纪外观）的结果，塑料是不二的选择，并且我认为 ABS 是最好用的塑料，因为用它可以极其快速、容易地获得结果。ABS 代表 Acrylonitrile Butadiene Styrene（丙烯腈–丁二烯–苯乙烯）。乐高公司（Lego®）的积木是 ABS 制作的。汽车音响的安装者以及模型铁路的爱好者也使用它。你也可以用它。你可以对它进行锯、钻、磨砂、切削、嵌入螺丝等加工，它都不会变形、裂开或破碎。它可洗，无需喷漆保护，几乎永远都不会坏。

迭尔林（聚甲醛树酯）是另一种塑料，不过要稍微贵一点，钻孔和切割也会稍嫌坚硬。这是一个个人偏好的问题。ABS 做的机器相当好，不过当你在它上面钻孔的时候（举个例子），它会“咬住”钻头，工件会随着钻头一起旋转，这跟钻头生成的塑料碎屑有关。迭尔林塑料是自润滑的，在机加工的热量作用下，具有更好的熔化的性质，因此在它上面钻孔、切削要比 ABS 更加干净、更加容易。

哪里有ABS?

几英尺见方的 ABS 塑料块可以在 http://hobbylinc.com 或 estreetplastics（eBay 店）之类的网上买到，但是如果你去最近的塑料供应店，就像购买胶合板一样，按每片 4 ft × 8 ft 的规格购买 ABS 塑料，会节省不少钱。为了搞明白你的附近有没有塑料店，可以在黄页或者 Google Loal 上搜索“plastic supply”（塑料供应）。

Piedmont Regal Plastics 公司在全美国各地有许多的供应中心，不过你得自己收集其地址，并且它们也未必愿意切割小块的塑料卖给你。你可以在 http://www.piedmontplastics.com 网站上查一查它们的地址。

ABS 塑料的常见颜色有黑色、白色以及“自然色”，也就是米黄色。板的一侧通常有粗糙的织纹，这一侧应该朝外，因为它要比光滑的一侧更耐刮划。

由于我们不会再给它上油漆或做其他的表面光洁工作，因此在加工的过程中，你要小心，不要磨损或划伤塑料。在开始加工之前，请彻底弄干净你的工作台，特别要注意除掉所有的金属颗粒，这种东西很容易嵌入塑料中。（对其进行固定时）要在老虎钳口垫上木垫片，要避免意外将塑料片放在尖锐的工具或螺丝上。加工 ABS 塑料时需要一个干净的环境，用力要特别轻。



小心切割

可以用锯来切割ABS塑料，但如果你用的是台锯，这种塑料有可能会熔化并粘在刀片上。当接下来的塑料片送进锯中时，涂在刀片上的这种东西将变热变粘，其结果将令人特别不快。旋转的刀片会夺走你手中的塑料并将其掷到你身上，其力道很大，足以打断你的骨头。这就是所谓的“回扫”，是锯塑料时的一种十分严重的危险见图5-76。

如果你拥有十分丰富的台锯使用经验，那么你实际上更容易受伤，因为你在处理木料时建立起来的条件反射和谨慎不适用于处理塑料。请认真对待这个警告！

第一位考虑的也是最显然的预防措施是采用切割塑料的刀片，它拥有较多的厚齿来吸收热量。我使用的刀片是Freud 80T，当然也有其他的选择。如果你使用的刀片不当，就会看到粘稠的东西开始累积起来。这是你唯一能够得到的警示信息。请用丙酮之类的溶剂清洁这块刀片，不要再用它来切割ABS塑料了。



图 5-76　回扫的危险。塑料很容易粘在台锯的刀片上，从而意外地甩到你身上。请使用其他的工具来切割塑料

不管你采用了何种预防措施，在使用台锯时，永远要戴上手套和眼睛保护装置，并且在往其中送入材料时要站在一侧。就我个人来讲，自从我经历了一次自以为打断了手臂的回扫之后，我宁可永远不再用台锯来切割塑料。

对于长而直的切割来讲，以下是一些代用的方法。

- 用板锯（大且贵，但是安全且精确）。
- 用刀片直径约为 4 in 的微型手持圆锯，并用夹紧在塑料片上的一条直边来导向。
- 用手锯。这是我最喜欢的保守办法。我喜欢用日本拉锯（它产生的切口很干净）：Vaughan Bear Saw 牌的极细齿横割锯，9.5 in，每英寸 17 个齿。如果你用的是这种锯，请注意不要把空余的手放在锯的路径上，因为这种锯很容易从切口跳出来。由于它是专门用来切割像木料一样的坚硬材料的，因此它很容易切割柔软的肌肉。强烈建议你戴上手套。

曲线切口

曲线切口牵涉到的危险相对较小，不过还是要建议你戴上手套，并对眼睛采取保护措施。以下是我喜欢使用的工具。

- 带锯，刀片直径为 0.375 in 或 0.25 in，专用于切割木料或胶合板。
- 线锯。我特别喜欢 DeWalt 公司的 XRP，使用博世的刀片，专用于切割硬木头或塑料。它能够像剪刀剪纸一样在 ABS 塑料上很容易地切割出复杂的曲线。

不管你使用何种类型的锯，在切割之后，你都需要将切口上高低不平的塑料斑点清理干净，为此绝对需要的一样东西是一把打磨工具，这可以从 http://www.mcmaster.com 网站以及其他许多的在线五金提供处买到。皮带磨砂机或圆盘磨砂机是圆角的理想工具，金属锉刀则可以用来去掉直边上的坑坑洼洼。

图 5-77 到图 5-80 所示为各种不同类型的切割工具。图 5-81 所示为一个打磨工具，图 5-82 所示则是一个圆盘磨砂机。

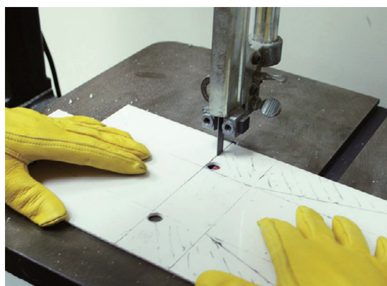


图 5-77 带锯是在 ABS 塑料上切割复杂形状的理想工具。你应该很容易找到 200 美元以下的二手货



图 5-78 手持圆锯沿着直边切割，用它来切割塑料要比台锯安全得多，并且也可以得到差不多的结果



图 5-79 这是一把日式的锯，当你用力拉它（而不是推它）时，就会产生切割作用。在经过一些练习之后，你可以用它进行相当精确的切割。由于 ABS 十分柔软，需要的体力很小



图 5-80 这把 DeWalt 牌的线锯可以工作在很低的速度之下，因而可以对塑料进行精确、小心的切割


图 5-81　打磨工具只需要快速地挫几下，就可以将塑料片的锯边清理干净并打磨成斜角


图 5-82　皮带磨砂机或圆盘磨砂机是给 ABS 塑料圆角的理想工具

绘制平面图

我喜欢使用绘图软件来绘制图纸，并且我总是试着将它们按实际的比例打印。再将它们贴在一片白色或者自然色的 ABS 塑料的光滑侧，然后用一把锥子穿透图纸进入到下面的柔软塑料表面。再去掉图纸，用铅笔或者尖细的水溶性笔画线，将锥子在塑料上做出的记号连接起来。以后可以用湿布将这些线擦掉。不要使用永久性的标记笔，因为清除这种笔迹的溶剂可能会溶解塑料。

在没有光滑半径的任何内角上进行折弯时，ABS 塑料容易产生裂纹，因此，我们需要在这些位置上钻孔，就像后面图 5-92 所示的小车图纸那样。

一般的 0.5 in 钻头的进度太快，在旋转一圈之内，它就可能被塑料堵住而不能动弹。应使用 Forstner 钻头（如图 5-83 和图 5-84 所示）来产生良好的、光滑的圆孔。

请注意，折弯时的热量会使塑料上的所有标记变成永久性的东西。


图 5-83　Forstner 钻头可以钻出干净、精确的孔；而很大的普通钻头会“咀嚼”ABS 塑料，把事情搞得一团糟

折弯

相对木料来讲，使用塑料的一个很大优点是，你只需要通过折弯就可以制作出很复杂的形状，而无需像木头那样要一片片切割，然后再用钉子、螺钉或者胶水将它们连接在一起。不幸的是，折弯确实需要适当的折弯器：就是安放在工作台上的一个长而细的金属壳，里面安装有电热元件。我使用的折弯器是 FTM 公司制造的，这个公司提供各种加工塑料的精致小工具。它们最便宜的一款折弯器如图 5-85 所示，有 2 ft 长，只需 200 多美元。你只需多付 50 美元，就可以买到长 4 ft 的产品。具体请去 http://thefabricatorssource.com 网站核查。

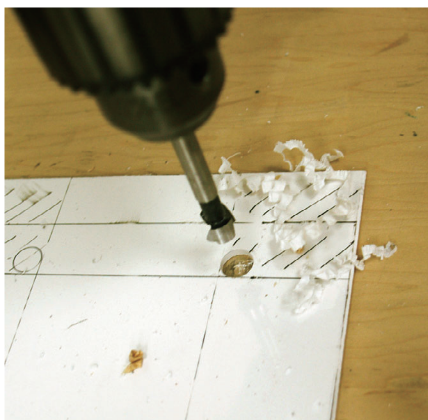


图 5-84 在两个折弯角的交叉位置钻孔，可以降低塑料开裂的风险



图 5-85 要在 ABS 塑料上做出干净的、精确的弯角十分容易，只需将塑料靠放在包含一个电热元件的折弯器上就行了

在折弯塑料时，需将塑料在塑料折弯器的加热元件上放置一段短暂的时间（0.125 in 厚的 ABS 塑料是 25 ~ 30 s，0.187 5 in 厚的是 40 ~ 45 s，0.25 in 的是 1 分钟）。如果塑料加热时间过长，就会烤糊，将其翻转过来时，会发现它很像烤软了的褐色奶酪的样子。当然了，你应该学会在塑料变成这种状况之前进行干预。

当 ABS 塑料只能产生轻微的抗压力时，就可以折弯了。将



在折弯时防止烫伤

如果你不小心将手放在塑料折弯器上，那将造成严重的烫伤。由于上面没有警告灯，因此你很容易忘记已经将其插上电源。请使用手套！

其从折弯器上拿下来，从加热的一面往另一面折弯。如果你往加热的一面折弯的话，软化的塑料将在折弯的内侧形成凸起，样子很难看。

你大约有半分钟的时间来折弯它，当你得到了自己需要的样子后，可以往上面喷水或者用湿海绵来擦拭它，以使其快速变冷定型。另外，如果你需要更长的时间来折弯的话，可以对其再次加热。折弯塑料片需要的力道跟弯角的长度成正比，因此制作很长的弯角有一定的困难。为此，我常常将塑料片插在一个松口的老虎钳嘴里，用力压一点点，然后移到要折弯的另一个点，再压一点点。

由于塑料折弯跟日本折纸中制作各种形状的方法相似，因此在对 ABS 进行处理之前，先用纸制作实验项目的模型是一个好主意。

如果你不打算花钱在折弯器上，也不要放弃塑料的选项——因为比起木料来，用螺丝将分开的各个塑料部分组装在一起也要容易和方便得多。

垂直连接

从胶合板的边缘攻入螺丝几乎总会使其各层之间分裂，但是 ABS 没有分层（也没有颗粒），它从来不会因此而裂开或碎裂。这就意味着你可以用小螺丝（4 号 0.625 in 长的那种）将两块 ABS 塑料垂直连接起来。

图 5-86 到图 5-90 显示了将 0.125 in（或更厚）的 ABS 连接到 0.25 in（我认为这是往其边上攻入螺丝的最小厚度）的 ABS 上的过程。

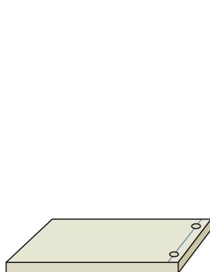


图　5-86

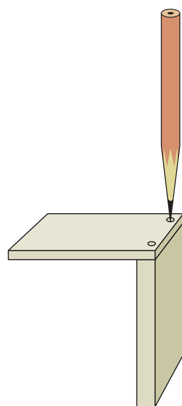


图　5-87



图　5-88

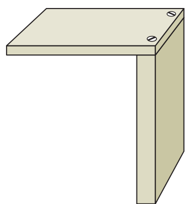


图 5-89　图 5-86 到图 5-89 说明了使用 4 号钣金螺丝将两片 ABS 塑料连接到一起的 4 个步骤。在第一片塑料离边沿 0.125 in 的标记线上钻出 7/64 in 的孔，然后通过这些孔在第二片塑料的边上做出标记。再在边的正中间钻 3/32 in 的孔，然后用螺钉将两片塑料连接在一起

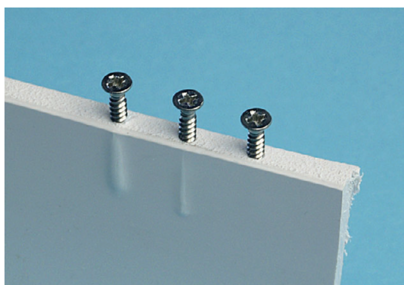


图 5-90　分别采用 1/16 in、5/64 in 以及 3/32 in 的引导孔时，4 号螺丝攻入 ABS 边的效果。由于前两个引导孔太小，塑料在螺丝周围出现了膨胀（但还没有挤破）

(1) 在较薄的塑料片上画出标记线，其距离边缘应为 0.125 in。对于 4 号螺丝，请使用 7/64 in 的钻头钻孔。如果使用的是平头螺丝，请用锥形钻头轻轻地在孔口扩孔。

(2) 将两块塑料片握（或夹）到它们的安装位置，从钻好的孔中插入一支钢笔或铅笔，在底部 0.25 in 厚的塑料的边上做出标记。

(3) 拿掉薄塑料片，将 0.25 in 厚的塑料片夹在老虎钳上，在有标记的各个位置钻上螺丝导向孔，孔的中心位于塑料厚度的中间位置。由于 ABS 塑料不像木料那样会收缩，因此这个空必须要比你期望的大一点，否则的话，塑料将在螺丝的周围鼓起来。3/32 in 的钻头刚好可以适合 4 号螺丝。

(4) 组装各部件。注意不要将螺丝拧得过紧，这样很容易破坏它们在软塑料中产生的螺纹。

搭建车架

我选择了一个不同寻常的钻石形状的车轮布局，其原因显而易见，你很快就可以看出来。在图 5-91 所示的渲染图中，由（远离我们那端的）前轮施加驱动功率，（靠近我们这一端的）后轮在后退时起转向作用，侧轮则起防

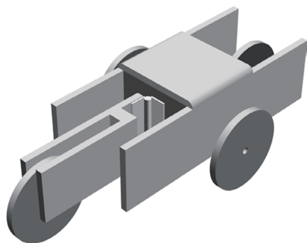


图 5-91　如果你有 3D 渲染软件，那么会有很大的帮助，它可以在你开始切割材料、连接各片塑料之前，测试你的项目结构的可行性。这个渲染图就是用来验证我们机器人小车的概念的

止翻倒的作用。

受你购买的电机类型的影响，你需要根据具体情况想出一个办法来将其安装在小车的前部。不要害怕使用杂七杂八的东西（譬如电缆绑带、管道扎带甚至橡皮筋）来将电机固定到车架上。我们是在制作一个粗糙的样机，而不是在制作一个漂亮东西（当然，如果你觉得自己很喜欢这个小车，那么在以后可以重做一个漂亮的）。

图 5-92 所示的图纸为你所需要的块件。A 部分是小车的车体。如果你打算折弯 ABS 塑料来制作它，那么应该使用 Forstner 钻头在 4 个内角上钻出 0.5 in 的孔，以使这些角上具有圆弧形的边。如果你简单地将塑料锯成 90° 的直角，那么当你折弯它的时候，塑料可能产生出裂缝。如果你没有塑料折弯器，也不想购买，那么你可以用三片分离的矩形块来制作 A 部分，最后用螺丝将它们连接起来。

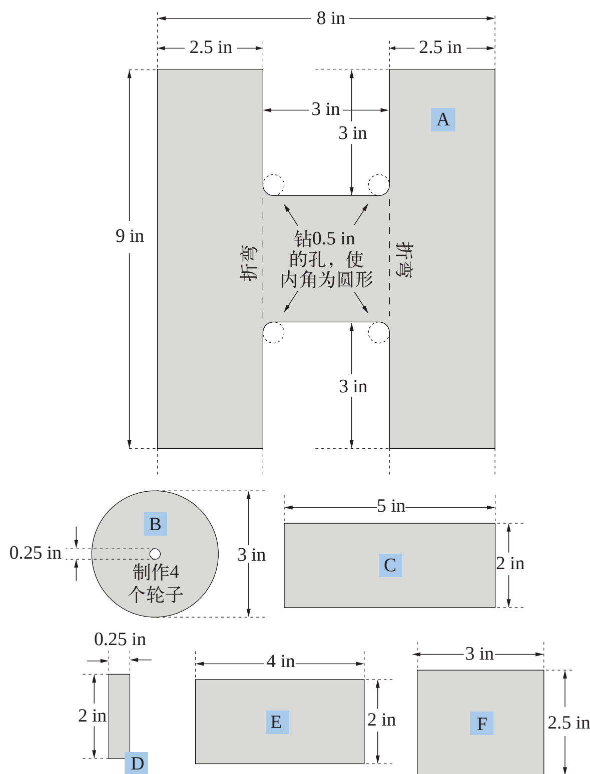


图 5-92　这些 0.25 in 厚的塑料块可以组装起来，得到实验 31 中描述的简单小车

B 部分是一个轮子，总共需要 4 个这样的轮子。我使用 3 in 的孔锯来锯出轮子。前轮要用螺丝固定在你得到的与电机轴匹配的圆盘或曲臂上。见图 5-93。



图 5-93 一个 3 in 的轮子被螺钉固定在与电机的驱动轴相配的圆盘上

C、D 和 E 部分组装在一起，构成一个轭，后轮就安装在它的上面。我用一个 2 in 的交链来使车轭可以绕枢轴转动。交链安装在 F 部分上，F 部分则作为车架的一部分位于车架的中段。图 5-94 和图 5-95 中的照片有助于说清这里面的的关系。在刚开始安装 F 部分时，只用两个螺丝，每侧用一个，以便你可以稍微调整其角度。这对于优化车轮与地面的接触来讲是必要的。

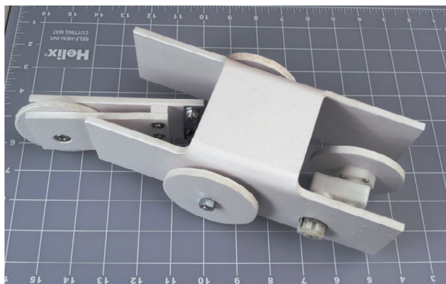


图 5-94 组装好的车体，还没有加上控制的电子装置。右侧的车轮将由左往右拉小车。当小车前进时，交链的尾轮使小车可以沿着相对较直的路线行进，而当小车后退时，尾轮则倾向于使小车转弯

侧轮和后轮必须能够自由转动，但另一方面，它们不应该摇摆抖动。我简单地将螺帽拧在作为车轮轴的螺栓上，直到螺帽离车身只有大约 0.5 mm 的间隙。我加了一滴 Loctite 牌的胶水来防止螺帽松动。

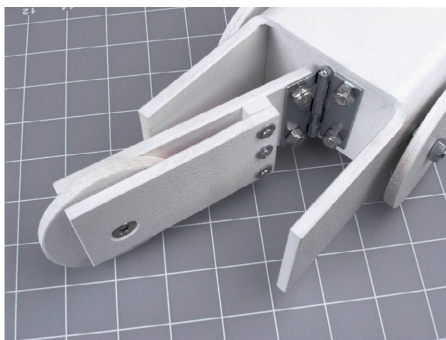


图 5-95 交链尾轮的特写镜头。它摩擦极小，可以自由转动，可以从一侧转到另一侧

图纸上并没有精确地给出钻车轴孔的位置，因为这些位置跟你的车轮大小有关。随着工作的进度，你自然能够确定

出这些位置来。只是要确保侧轮不要安装得太低。我们不希望侧轮把前轮或后轮提离地面。如果侧轮离开地面的距离比前轮和后轮稍微高一点的话，这是不错的。

如果你家里铺有地板砖或木地板，那么给每个驱动轮以及转向轮裹上一层厚橡胶绷带将使你的小车得到较好的牵引。

结构上最重要的一点是，要在适当的位置放上微型开关，以便在小车撞上东西时能够触发这些开关。我的开关安装在前角上，如图 5-96 和图 5-97 所示。装好开关后，剩下的工作就是搭建电子电路了。



图　5-96

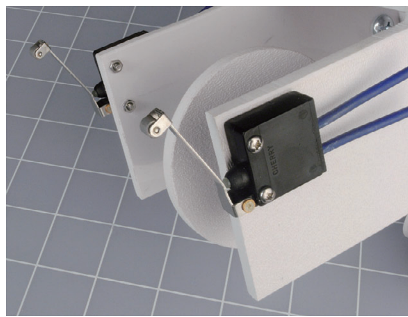


图 5-97　具有金属臂的两个微型开关安装在小车的每侧，这样它们就可以感知到所有障碍了

电路

电路原理图极其简单，如图 5-98 所示，其中仅有 4 个主要元件：两个微型开关（用来感知小车前面的障碍）、一个继电器，以及一个 555 定时器。当然，你还需要一个小型电源开关，一节电池或一个电池盒，一个电阻器以及定时器所需的电容器。微调电位器使得你可以调节 555 定时器的“on”时间，这将决定小车后退的时间。见图 5-98。

我选择的电机要求 5 V 的电压，因此我必须使用调压器与 9 V 的电池相配。如果你的电机使用 6 V 的电压，那可以直接将 4 节 AA 电池接到它上面。如果你的电机是 12 V 的，可以用两节 9 V 电池串联，通过一个 12 V 的调压器给它供电。

装好这些元件，再安装到小车上，并合上开关，小车就应该沿着近直线的路径缓慢地往前移动。如果它倒着走，请将连接到电机的端子反接一下。

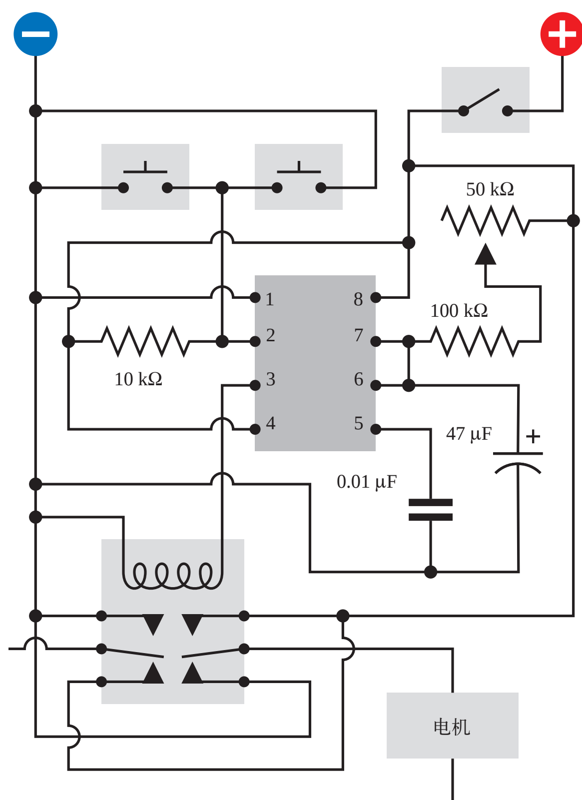


图 5-98 这个超级简单的电路原理图就是当小车碰到障碍时能够后退所需要的全部东西

当小车撞到什么东西时，会有某个微型开关将负电压接到 555 定时器的输入引脚。这将使工作于单稳态的定时器触发，产生出一个持续大约 5 s 的脉冲，这个脉冲使继电器闭合，从而使电机两端的电压改变方向。

当一个简单的直流电机的电压反向时，它就会反向运转。因此小车会往回走。由于后轮是安装在一个可以绕枢轴转动的车轭上的，车轭将倾向于翻向一侧或者另一侧，导致小车往后移动时走出一段圆弧轨迹。在定时器周期结束的时候，继电器释放，小车又开始往前移动。在往前移动的模式中，后轮仅仅跟随着前进而不会施加任何的转向力，因此小车倾向于走一条直线——直到碰到下一个障碍，然后会再次后退，并尝试另一条路径。

基础知识

关于限位开关

你的小车的转向构造存在明显的改进空间。你可以用另外一个电机和一对限位开关来负责转向。由于限位开关在与电机相关的应用中十分基本，也很重要，因此我将对其进行详细讲解。

图 5-99 显示了一个带有曲臂的电机在 3 个顺次的状态下的电路，该曲臂可以按压下方的按钮或者上方的按钮。这两个按钮都是常闭的，但是当受到电机曲臂的按压时将会打开。这些按钮就是限位开关。通常你可以将微型开关用于这种目的，就是我建议用来作为小车前面的障碍感知器的那些开关。

此外，其中有一个双刀双掷继电器，它由右侧一个简单的 on/off 开关来激活。而在小车上，555 定时器取代了 on/off 开关的位置，把电力输送到继电器中。

假定开始时电机的曲臂指向下方，如图 5-99 中的顶图所示，并且电机的接线具有这样的特点：当它的下方端子接收到负电压、上方端子接收到正电压时，它就往逆时针方向旋转。这正好是当 on/off 开关闭合而将电力送到双刀双掷继电器时所发生的事情。来自继电器触点的正电压不能通过上部的二极管，但是能够通过上部的限位开关，因为这个限位开关是闭合的。负电压不能通过下部的限位开关，因为它是断开的，但是能够通过下部的二极管。因此，电机将开始逆时针方向旋转。当电机转到圆弧的中间位置时，它通过两个限位开关接收电力。

最后，电机的曲臂到达上部的开关，并将其打开。这就阻止了正电压经过该开关到达电机，另外上部的二极管阻止正电压的通过。所以这个时候电机就停电不动了。

现在假定 on/off 开关断开了，如图 5-100 的顶图所示。继电器失去了电源，因此其触点释放。供给电机的电压现在反转方向了。负电压通过上部的二极管，而正电压通过下部的限位开关到达电机。电机开始顺时针旋转，直到其曲臂撞击下部的开关并将其打开，从而切断电机的供电。

限位开关是必需的，因为如果你连续不断地给一个处于无法转动状态的简单直流电机供电，电机将吸收更大的电流，会变热甚至烧掉。

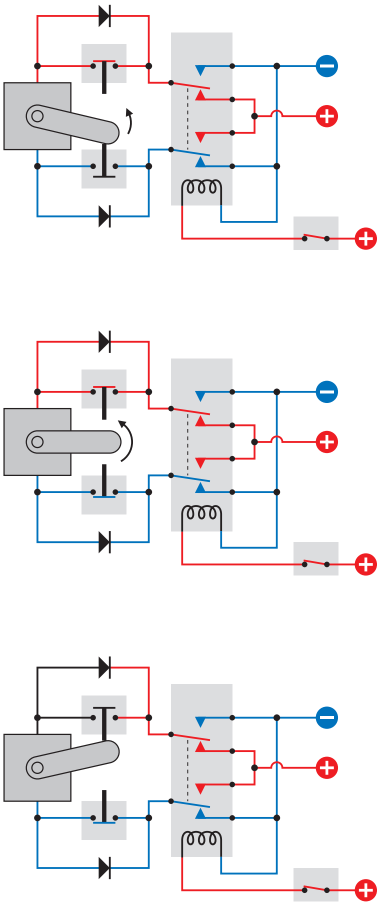


图 5-99　从上到下的 3 个示意图显示了由一个双刀双掷继电器以及两个限位开关控制的电机转到 3 个不同位置时的电路。当右下方的 on/off 开关往继电器输送电力时，下方的继电器触点导致电机逆时针转动，直到其曲臂打开上方的限位开关而使之停转

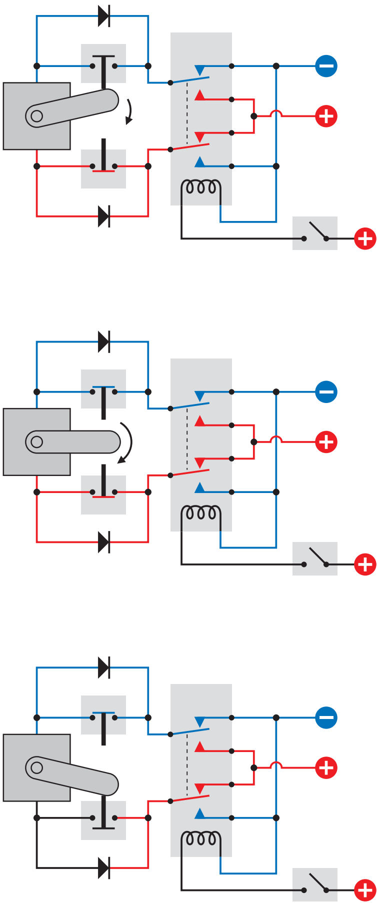


图 5-100　当右下方的 on/off 开关打开时，继电器上方的触点闭合。从而导致电机顺时针旋转，直到其曲臂打开下方的限位开关。限位开关可以防止电机过热和可能造成的损坏，这些情况往往发生在电机不能动却继续给电机供电的时候

你很容易就可以明白如何将这种系统用到小车转向的控制上。即使电机只有两个位置，也已经足以让电机在后退时转向，而在往前时沿着直线前进。

为了降低电力消耗，双刀双掷继电器可以用一个两线圈的闩锁继电器来代替。这样的话，电路就必须予以修改，需要往继电器的线圈中通入脉冲，它才能够来回翻转。

关于电机

有刷直流电机

这是最老也是最简单的电电机，其最简单的形式如图 5-101 所示。在这种电机中，线圈附着在一个转轴上，可以与环绕在转轴周围的固定磁铁相互作用。磁吸力使转轴转动一点点（转到一个新的位置），这样下一个线圈就得到电流，从而使转轴转动更多一点，然后是再下一个线圈——依此类推。为了使这种事情发生，必须通过“电刷”来将电流送到线圈里面。电刷一般是由软碳块构成的，它将电源引到一个称作换向器的套筒上。换向器被分成许多个部分，每个部分连接到一个单独的线圈。

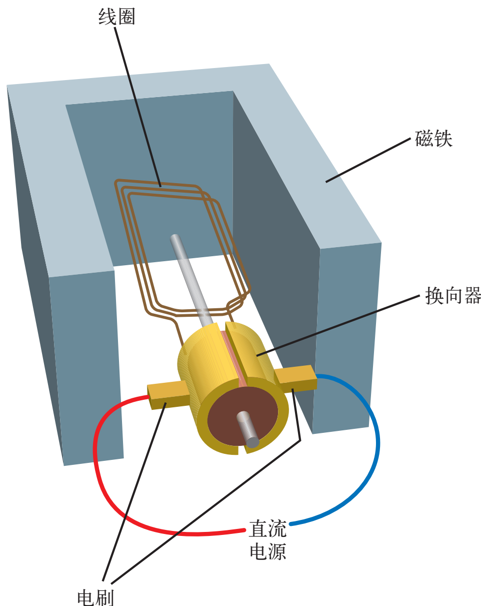


图 5-101　一个简单的直流电机的基本原理。换向器让电流可以流到线圈里，产生磁场来与电机四周的磁铁相互作用。当线圈转动时，换向器跟着它一起转，直到线圈中的电场反向为止。这将导致这个过程重复下去。在现实中，电机的换向器一般是由多个片断组成的，连接着多个线圈，但是原理还是一样的

对于想要制作电动小玩意儿（例如，微型机器人，甚至模型飞机）的人来讲，

有刷直流电机这个基本的设计具有好几个优点。

- 到处可以得到；
- 低成本；
- 简单；
- 可靠；
- 当电压反向时，转向也会变反。

此外，有刷电机常常带内装的减速齿轮一块出售。这种单元就是所谓的**齿轮减速电机**或**齿轮电机**。这免去了使用你自己的齿轮或皮带来调整输出速度的烦恼。你只需简单地选择满足参数要求的电机就行了。

直流步进电机

这种电机需要控制器——它由一些电子元件组成，来告诉电机按小的、离散的小步来转动自己的转轴。步进电机的优点如下。

- 转轴的精确定位；
- 精确的速度调节。

步进电机的理想应用场合是计算机的打印机之类的设备，在这些地方，纸张必须以精确的距离往上滚动，而打印头也同样必须以精确的距离侧向运动。当然，步进电机在机器人中也十分有用。如果一个步进电机特别小，其所吸收的电流不到 200 mA，并且可以运行在 12 V 或者更低的电压下，那么你可以用 555 定时器发出的脉冲来控制它。我将在实验 33 中更具体地介绍步进电机。

伺服电机

这种电机常常与可编程微控制器一起使用，后者发送一个指令来旋转电机的转轴到一个特定的位置，然后保持在那里。我将在介绍微控制器的时候提到伺服电机，但是不会详细介绍它。

还有其他类型的电机，包括无刷直流电机（它要求一种不同类型的控制器，可以在计算机磁盘驱动以及 CD 播放器中见到）、交流电机（包括同步电机，它的转速跟交流电压的频率是同步的，在闹钟数字化以前，它广泛使用在闹钟中）。

在本书中，我主要会介绍到的是有刷直流电机和直流步进电机。

在这个实验中，值得你记住的信息有以下几点。

- 你可以购买内装有减速齿轮的简单直流电机，来满足你的速度要求。可以说有成百上千的网站都在出售用于机器人项目的小电机。
- 当你改变直流电机的电压的方向时，电机将往相反的方向转。
- 双刀双掷继电器可以接成这种样子，当其触点闭合时，它将供给电机的电源电压反向。
- 你可以使用两个限位开关和一对二极管来将电机停止在两个位置。在这两个停止位置中的任何一个，电机都不消耗功率，因此不存在烧毁电机的风险。

你还能想出其他可以利用到这一组简单技术的实验项目吗？

机械旋转力——转矩

在美国，电机的旋转力（或者说转矩）往往用磅–英尺或盎司–英寸来度量。而在欧洲，米制系统使用达因–厘米来测量转矩。

磅–英尺很容易理解。设想有一个杠杆可以绕一端的枢轴旋转，如图 5-102 所示。如果杠杆的长度为 1 英尺，你在其一端悬挂了一个 1 磅重的东西，那么其旋转力就是 1 磅–英尺。

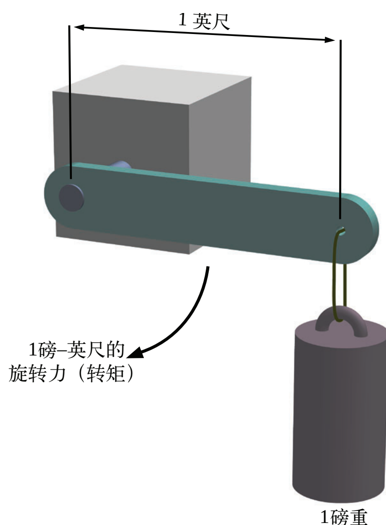


图 5-102 由电机产生的旋转力称作“转矩”，美国人用磅–英尺或盎司–英寸（用于小电机）来测量它。在米制系统中，转矩用达因–厘米来测量。请注意，电机产生的转矩随着电机运行的速度的变化而变化

基础知识

线规

如果你要给较大的电机或者其他比 LED 和小型继电器需要更多电流的元件供电，那么你就确实需要知道线规问题。具体来讲就是，导线的粗细跟 AWG（美国线规）是什么关系。对于任一给定的电流，你应该使用哪个线规号的导线。

如果你上网去查，你会发现大量的图表，但是这些来源的许多信息彼此矛盾，尤其是谈到各个线规号的导线通过多大的电流为安全的时候。

在经过几次比较（并且经我自己测试了一些导线样品）之后，我汇编了图 5-103 的表格，作为我给大家推荐的一个折中方案。请注意以下几点。

- 这个表适合于实心铜导线。
- 对于多股的绞合线，或上了锡的铜线（具有银色的外观），每英尺的欧姆数将增加，每欧姆的英尺数将减少，最大安培数将减少，也许为 20% 左右。

最大安培数是在假定导线为绝缘因而没法像裸线一样有效地辐射热量的情况下得到的。我还假定导线有可能至少是部分封闭在盒子中或者箱子中的。对于表中为每一个线规号的导线列出的安培数，你应该知道导线会变得相当的热，并且就我个

线规号	直径（in）	欧姆/1000英尺	英尺/欧姆	最大安培数（绝缘线）
0000	0.46	0.049	20 400	225
000	0.41	0.062	16 200	200
00	0.365	0.078	12 800	175
0	0.325	0.098	10 200	150
1	0.289	0.124	8 070	125
2	0.258	0.156	6 400	100
3	0.229	0.197	5 080	90
4	0.204	0.249	4 020	80
5	0.182	0.313	3 190	70
6	0.162	0.395	2 510	60
7	0.144	0.498	2 010	51
8	0.128	0.628	1 590	44
10	0.102	0.999	1 000	32
12	0.081	1.59	630	23
14	0.064	2.53	396	17
16	0.051	4.02	249	13
18	0.04	6.39	157	10
20	0.032	10.2	99	8
22	0.025	16.1	62	5
24	0.02	25.7	39	2.5
26	0.016	40.1	25	1.5
28	0.013	64.9	15	1.0
30	0.010	103.2	10	0.5

图 5-103　美国线规号（AWG）及其性质

人来讲，我倾向于使用比表中指明的最大值更粗的导线。

大多数这样的表格仅仅告诉你每个线规号的导线每千米的电阻值。在我的表中也包含了这一信息，但是我还用另外的方式来表示这个函数，即每欧姆的英尺数，这样表示可以使你无需做太多跟小数打交道的算术。

理论知识

计算电压降

另一个一般来讲你必须知道的知识是，电路中一根特定长度的导线将引起多大的电压降。如果你想要从电机上获得最大的功率，你就不会希望在连接电机的来回导线上损失太多的电压。

电压降是很复杂的，因为它不仅跟导线有关，还跟电路负载的大小有关。假定你正在使用一段 100 ft 长 22 号线规的导线，其电阻大约为 1.5 Ω。如果你将其接在 12 V 的电池上，去驱动总等效电阻约 1 200 Ω 的一个 LED 和相串联的一个电阻器，那么导线的电阻相比而言是微不足道的。根据欧姆定律：

安培 = 伏特 / 欧姆

通过电路的电流仅仅只有约 10 mA。

同样根据欧姆定律：

伏特 = 欧姆 × 安培

具有 1.5 Ω 电阻的导线上产生的电压降为 $1.5 \times 0.01 = 0.015$ V。

现在假定你在驱动一个电机。电机的线圈有阻抗，而不是电阻，但是如果测量有多少电流通过该电路，我们仍然可以建立起有效电阻。假定电流是 1 A。重复第二个的计算：

伏特 = 欧姆 × 安培

因此，导线上的电压降现在为 $1.5 \times 1 = 1.5$ V！这一情况如图 5-104 所示。

请牢记这些因素，我为大家汇编了一个表格。我将数字四舍五入到了两位数字，因为你所使用的导线存在的差异使得保留更多位的精度没有实际意义。

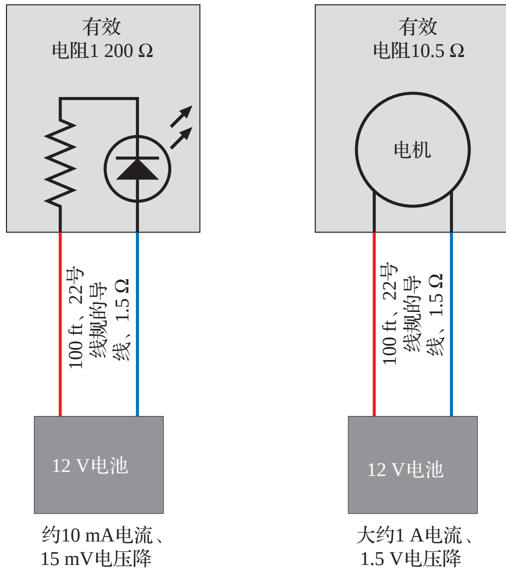


图 5-104 导线引起的电压降依赖于电路中的电流和电阻。当电路的电阻低而电流大的时候，导线的电压降最大。

使用这个表格，你需要知道电路中流过的电流有多大。你可以自己计算（通过将所有的电阻相加，然后用它去除以你所施加的电压），或者简单地用万用表去测量电流。只是要确保你的单位是一致的（全部用 Ω、A 和 V，或者全部用 mΩ、mA 和 mV）。

在这个表中，我随意地假定导线的长度为 10 ft。自然，你必须针对电路中导线的实际长度进行校正。导线越短，损耗就越小。一个有 5 ft 长导线的电路，在相同的电流和电压下，电压损耗的百分数将只有表中的一半。一个有 15 ft 长导线的电路，在相同的电流和电压下，电压损耗的百分数将只为表中的 1.5 倍。因此，在使用这个表格时，要做到以下两点。

(1) 将你的导线长度除以 10（要保证测量单位是 ft）。

(2) 将以上结果乘以表中的数据。

表中还随意地假定你使用的是 12 V 的电源。如果你使用的电源电压不同，那么你同样必须进行校正。因此，在使用这个表格时，要做到以下两点。

(1) 用 12 去除以你的电源的实际电压。

(2) 将以上结果乘以表中的数值。

可以将以上两步综合起来，就是：

$$电压损失百分数 = P \times (12 / V) \times (L / 10)$$

其中 P 是表中的数值，V 是电源电压，L 是导线长度。

这个表给出了在 12 V 供电的电路中，一根 10 ft 长的导线的电压损失的百分数。

线规号	安培数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83
12	0.13	0.27	0.40	0.53	0.66	0.80	0.93	1.1	1.2	1.3
14	0.21	0.42	0.63	0.84	1.1	1.3	1.4	1.5	1.9	2.1
16	0.33	0.67	1.0	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4
18	0.53	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	3.7	4.3	4.8	5.3
20	0.85	1.7	2.6	3.4	4.3	5.1	6.0	6.8	7.7	8.5
22	1.3	2.7	4.0	5.4	6.7	8.1	9.4	11	12	13
24	2.1	4.3	6.4	8.6	11	13	15	17	19	21
26	3.4	6.8	10	14	17	20	24	27	31	34
28	5.4	11	16	22	27	32	38	43	49	54
30	8.6	17	26	34	43	52	60	69	77	86

请记住，如果你使用多股的绞合铜线或上锡的铜导线，由于它们的电阻较高，因此将使其电压损失的百分数增大。

实验 33　一步步地移动

现在我们来制作一个更加成熟的东西：跟踪光源前进的小车。我将告诉你启动这个项目所需的所有东西，但是这次我不会从头到尾完成所有细节。我希望你养成开动脑筋的好习惯，自己设计出各个细节，改进图纸，并最终发明出属于你自己的某样东西。

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 555 定时器，数量：8 个。
- ❒ 微调电位器，2 kΩ，线性的，数量：2 个。

- LED，数量：4 个。如果你对在 12 V 的电路中使用电阻器来保护 LED 感到厌烦的话，可以考虑购买 12 V 的 LED，例如 Chicago Miniature 生产的 606-4302H1-12V，它内含电阻器。不过图 5-108 的电路原理图假定你使用的是普通 12 V 或者 2.5 V 的 LED。
- 步进电机：单极型，四相，12 V。可以用 Parallax 生产的 27964 或类似的，最大消耗电流 100 mA，数量：2 个。
- 光敏电阻器，理想的电阻在 500 Ω 到 3 kΩ 之间，数量：2 个。
- STMicroelectronics 生产的 Darlington 管阵列 ULN2001A 或者 ULN2003A，数量：2 个。
- CMOS 八进制或者十进制计数器，数量：2 个。
- 各种电阻器和电容器。

探究一下所用的电机

我之所以提出要买单极型、四极、12 V 的步进电机，是因为这样的电机最常见，典型的例子如图 5-105 所示。如果难以找到我列出的那种型号，你尽可以放心购买任何具有相同的基本描述的其他型号。“单极型”意味着在驱动电机时，你无需将电源从正切换到负，然后再切换回正。四相意味着驱动电机的脉冲必须按顺序施加到 4 根不同的导线上。由于你将直接用 555 定时器来驱动电机，电机消耗的功率越少就越好。

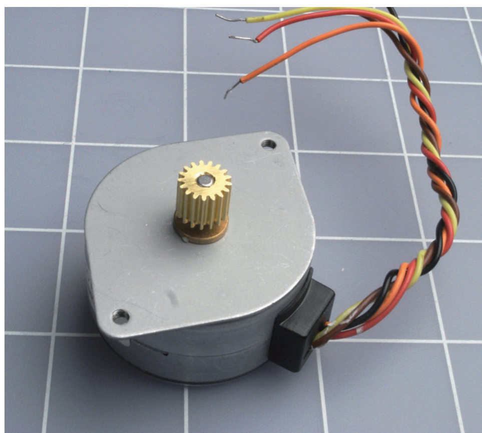


图 5-105　一个典型的步进电机。当负电脉冲依次施加到其 4 根导线上时，电机的轴就一步步地转动起来，第五根线是共同的正端

首先，我们完全可以不用其他任何元件就可以给这种步进电机施加电压。它最可能有 5 根引出线，端部都剥去了绝缘层并上了锡，以便你可以轻易地将它们插入面包板的插孔中，如图 5-106 所示。请查阅电机参数说明书，应该可以发现其中的 4 根导线是用来给电机加电并使其按步旋转的，而第五根导线则是共同的连接线。在许多情况下，共同连接线应该接在电源的正端，而将负电压依次施加在其他 4 根线上，每次转动一步。

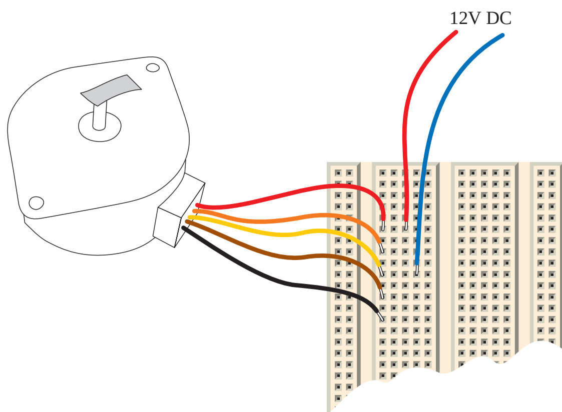


图 5-106　检测步进电机的最简单的方法是手动地将电压加到其 4 根控制导线中的每一根上，与此同时，通过粘在输出轴上的一片管道胶带可以很容易地看出电机的反应

参数说明书会告诉你应该按照何种顺序给导线通电。如果需要，你也可以通过试探找出这个顺序。需要记在心头的一点是：步进电机有很大的容忍度。只要加的电压正确，它就不会烧坏。

为了看到这种电机实际的工作情况，请在其轴端粘贴一片管道胶带。然后通过把电源的负端连接线从一根导线移到下一根导线，每次给一根导线通电。你应该可以看到电机轴在以很小的步伐转动。

电机的里面是线圈和磁铁，不过它们的作用不同于直流电机。刚开始时你可以设想其结构像图 5-107 的样子。每次你给一个不同的线圈通电，黑色的四分之一转轴就旋转到面对相应的线圈。在实际中，电机从一个线圈转到下一个线圈的转动量当然比 90° 小，但是这个简单化的模型是一个很好的方法，它可以让我们对这种电机的原理有粗略的理解。要想得到更为精确的解释，请阅读下一节“理论知识：步进电机的原理”。

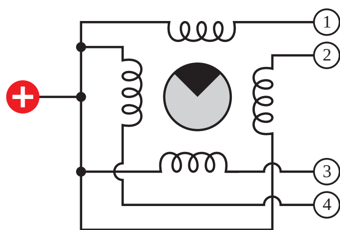


图 5-107 这个极大简单化了的示意图有助于形象地说明步进电机的工作原理。而实际上，几乎所有的步进电机每个脉冲的旋转量都小于 90°

请记住，只要这种电机的所有导线都是连在电源上的，它就不断地吸收电力，即使处于不动状态、不干任何事情的时候也是如此。不同于普通的直流电机，步进电机的特点就是在大部分的时间里不干任何事情。当你将电压施加到另外一根导线的时候，它就会步进到那根导线相应的位置，然后又恢复到不干任何事情的状态。

电机中的线圈对转轴起到定位作用，电机吸收的功率将作为热量消耗掉。当你使用这种电机时，电机变得很热是很正常的。其问题在于，如果你用电池给它供电，并且忘记它已经连在电源上了，那么电池的电力将维持不了多久。

快速演示

既然已验证了电机能够正常工作，但是如何才能使其真正工作呢？你要按照一种快速、重复的方式，轮流地往 4 根导线中的每一根输送脉冲。如果你还能调节脉冲速度就更好了。我考虑的是一个快速简单的演示，你可以使用 4 个 555 定时器简单地应对所面临的挑战——让这 4 个定时器全部工作在单稳模态，由一个来触发下一个。

图 5-108 所示的电路原理图显示了我的想法。它看起来要比实际的复杂。图中各个定时器都具有相同的外围元件及连接，因此当你搭建起第一个模块之后，只需复制 3 份就可以了。

我在每个 555 定时器的输入端加了一个 10 kΩ 的上拉电阻，以使定时器自然处于抑制状态。一个 0.01 μF 的电容器将一个定时器的输出连接到下一个定时器的输入，以使它们彼此电气隔离：当一个定时器结束其“on”周期、输出变低而触发下一个定时器时，电容器仅仅传递了一个电压“尖峰”。

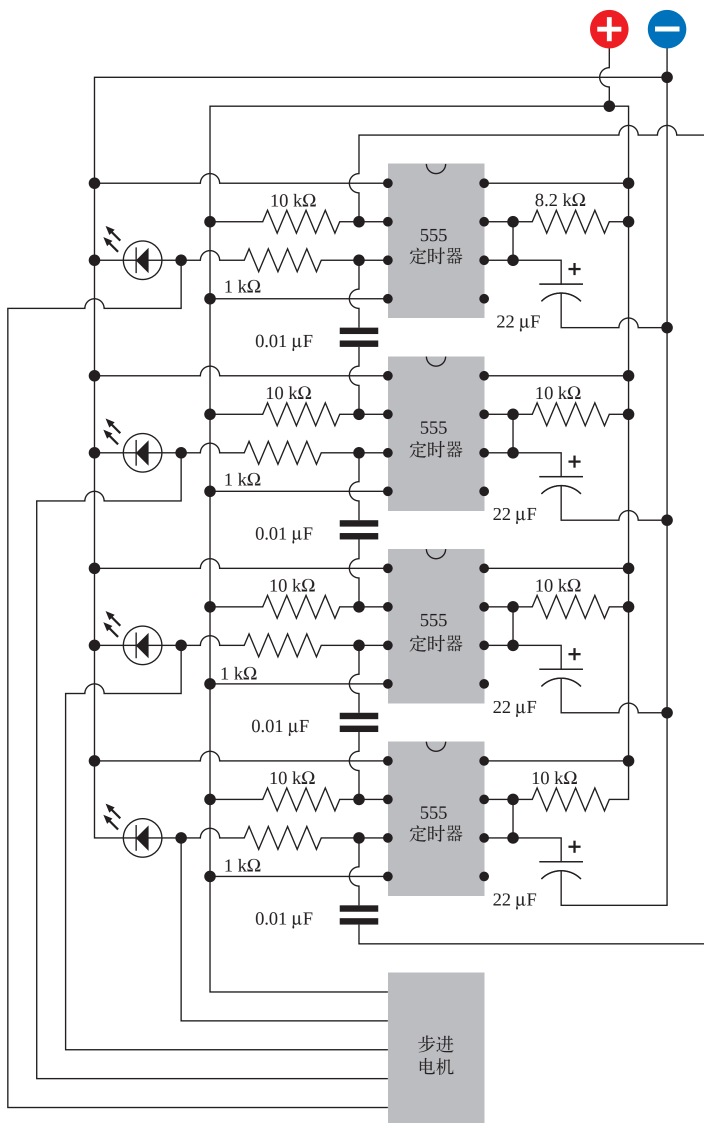


图 5-108　使用 4 个 555 定时器来控制步进电机的一个十分快速、简单的电路，其中的每个定时器都工作于单稳态，以重复的顺序相互触发

在右侧，我使用了一个 10 kΩ 的电阻器和一个 22 μF 的电容器来产生一个大约 0.25 s 的周期——但最顶端的定时器例外，它使用了一个 8K2 的定时电阻器。这样做的原因在于，当刚刚加电时，所有的定时器

都将等待别人开始，并且定时器 2 和 4，或者 1 和 3 都可能同时触发。通过给某个定时器设置较短的周期，可以尽可能减少以上问题的发生。

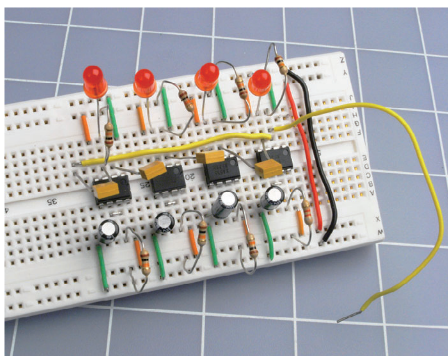


图 5-109　为了检查控制电路中的错误，利用 4 个 LED 来显示 4 个 555 定时器的输出。右侧松开的黄线连接在第一个定时器的引脚 2 上。将这个导线的自由端接触电源的正端将使定时器复位，然后若有需要的话，再短暂地将自由端连接到电源的负端来重启顺序

加入 LED 只是为了让你对所发生的事情有种视觉上感受。没有它们的话，你若连错了一根线，电机可能会不规则地来回转动，但你却不知道原因。刚开始时，你可以在仅连接有 LED 的情况下运行电路，目的是确信它能够工作。图 5-109 显示了连接电机之前的面包板电路。然后再加电机，方法是将其导线插在面包板上与定时器的输出（引脚 3）相接的地方，见图 5-110。

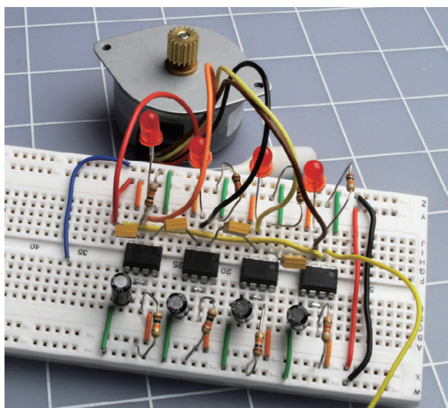


图 5-110　在电路通过测试之后，就可以接入电机，即把它的控制导线连接到 4 个 555 定时器的输出上

加上电源，你应该可以看到电机一步步地转动，跟 LED 点亮的顺序一样。如果 LED 点亮的顺序不稳定，那么：

(1) 直接从顶部的定时器的输入（引脚 2）连接一根导线到电源的正端，并等待定时器平稳下来；

(2) 断开该条导线自由端的连接来重启顺序，或者（如果需要的话）将该自由端短暂地接触电源的负端，来触发第一个定时器。

有一点你也许已经注意到了，如果你特别注意的话，可以看到电机的公共端是接在电源的正极的。因此，当一个定时器输出为正时，这个正的信号实际上并没有供到电机那里去。在任何给定的时刻，都有 3 个

定时器没有触发，它们的输出是低电平，实际上是它们在从电机吸收（汇集）电流。这种配置似乎相当的不错，但是你需要某种理论来理解其中的原因。

理论知识

步进电机的原理

如果你去查看维基百科上步进电机的条目，也许可以看到一个很漂亮的 3D 渲染图，显示出一个有齿的转子和环绕它布置的 4 个线圈。也许过去的步进电机曾经是这个样子的，但现在不再是这样的了。

设想有两行水平放置的线圈。在它们之间的空处是一系列的小磁铁，就像货运火车一样，可以左右运动，如图 5-111 和图 5-112 所示。每个线圈分成两个绕组，沿着相反的方向，其中一个绕组通过电流时会产生朝上的磁场（力），而另一个绕组通过电流时会产生朝下的磁场（力）。每行的绕组是并联连接的关系，所以它们同时导通和关断。

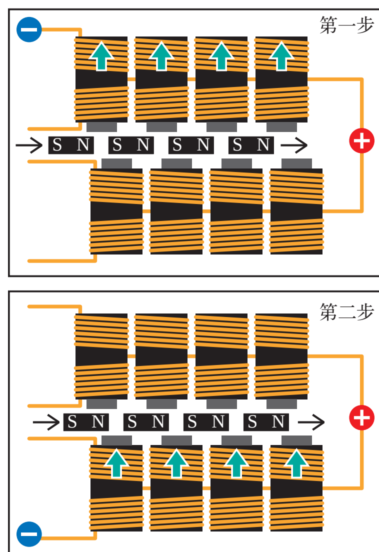


图 5-111　步进电机的转子（显示为一系列 S-N 的磁铁）在电流脉冲（表现为电磁铁）的作用下，发生移动的最初两步

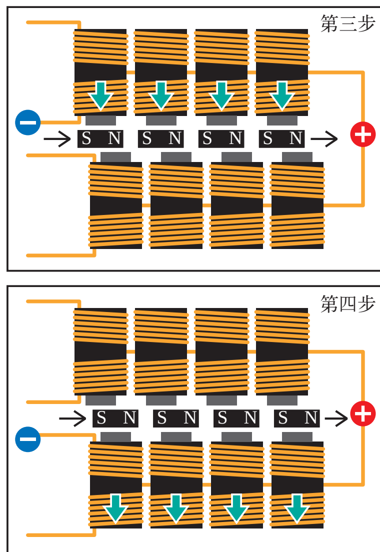


图 5-112　又经过两步之后，电机的状态回到图 5-111 所示的开始位置

在第一步中，负端连接给上方线圈的上部绕组供电，产生一个朝上的磁场（力）。我特意用蓝绿色的箭头来显示这些磁场（力），免得你将它们与电流混淆在一起。这样一来，这些磁场就吸引磁铁的北极，而排斥南极，从而导致从第一步所示位置出发的磁铁会往右边移动一步，到达第二步所示的位置上。

现在给下方线圈的下部绕组通电，这次产生一个朝下的磁场（力），它同样吸引磁铁的北极，排斥南极，从而导致磁铁前进到第三步所示的位置。

现在给上方线圈的下部绕组通电，产生一个朝下的磁场（力）。它排斥磁铁的北极，吸引南极，因此磁铁继续运动，到达第四步所示的位置。

现在给下方线圈的上部绕组通电，产生一个朝上的磁场（力），它同样排斥磁铁的北极而吸引南极。因此磁铁往右移动最后一步——这使磁铁的方向跟第一步变得一样。然后以上的过程又可以重复。

实际上，磁铁并不是彼此分离的，而是将转子的圆周分区磁化成了交替的南、北极。也没有用很多的线圈，而是用了 4 个绕组，它们绕在所有的磁芯上。不过原理是完全一样的。图 5-114 的 3D 渲染图说明了其中的基本思想，图 5-115 的照片则显示了当我打开一个普通步进电机之后所看到的东西。

现在请记住，当这个东西由一组 555 定时器来驱动时，我每次不只是将电源的负端连到左边的一根导线而让其他导线悬空。实际上，在任何给定的瞬间，有 3 个定时器具有负电平输出，只有第四个具有正的输出。图 5-113 显示了这种情况。

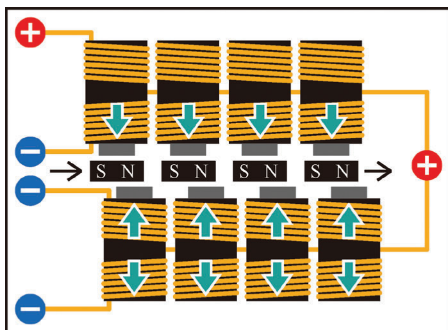


图 5-113 当 4 个 555 定时器驱动步进电机时，它们是通过从电机吸收电流来驱使它转动的。电机的内部工作情况有点类似本图，但这不是最有效率的驱动方法

假定最上面的导线为正，其余 3 根导线为负，如图 5-113 所示。正的输出不会有任何作用，因为线圈的另一端也是连在电源的正端的。连接到下方两个绕组的负电压产生大小相等、方向相反的磁场（力），因此彼此抵消（但浪费电力）。所以总的结果跟第三步相同。

实际上，你会发现在用 555 定时器来驱动步进电机时，你可以彻底地断开共用的导线，电机仍将转动，因为有一个定时器在提供正电压而其他的在提供负电压。实际上，在这种方式下电机运行的效率更高。

图 5-114 和图 5-115 也许可以帮助你理解步进电机内部实际的样子。

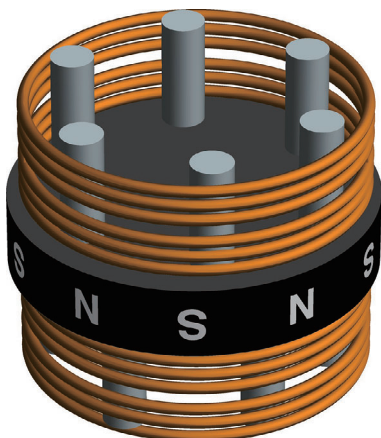


图 5-114　这个 3D 渲染图可以让我们很好地了解典型步进电机的内部样子。铜质线圈和灰色的圆柱体是定子，而黑色的圆盘则在它们之间旋转

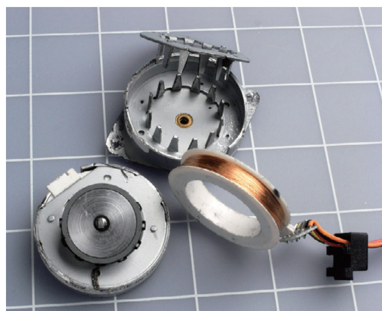


图 5-115　在拆开一个步进电机时，这就是你可能会看到的东西。左下侧：仍然连在下半部分外壳上的转子，它的圆周上有一个已经磁化的环带。右下侧：上半部分外壳打开后，拿出来的线圈（你可以看出，绕组实际上包括两个线圈，绕制的方向相反）。上方：构成定子磁芯的爪极（突出的金属片），它们会对转子产生作用力

速度控制

如果你是个不寻常的观察者，你也许会注意到，在图 5-108 的步进电机的驱动电路原理图中，我没有对各个定时器的引脚 5 进行连接处理。正常情况下，引脚 5 应该通过一个电容器接地，以防止它拾取到杂散电压而影响芯片的精度。

我之所以没有连接这些引脚，是因为我给它们安排了特别的用处。实际上，改变芯片的定时长度正是我们所希望的，这可以改变步进电机的速度。

如果你将所有 4 个定时器的引脚 5 全部连接在一起，如图 5-116 所示的那样，并在它们与电源的负端之间连接一个 2 kΩ 的微调电位器（如图 5-117 所示），你会看到当你旋转微调电位器降低它的电阻时，定时器就变快。图 5-118 显示的是这个电路的面包板实现。最终，当电阻低于约 150 Ω 时，一切都停了下来。LED 不亮了，因为你已经将引脚 5 的电压降低到 555 定时器能够接受的门槛电压以下了。

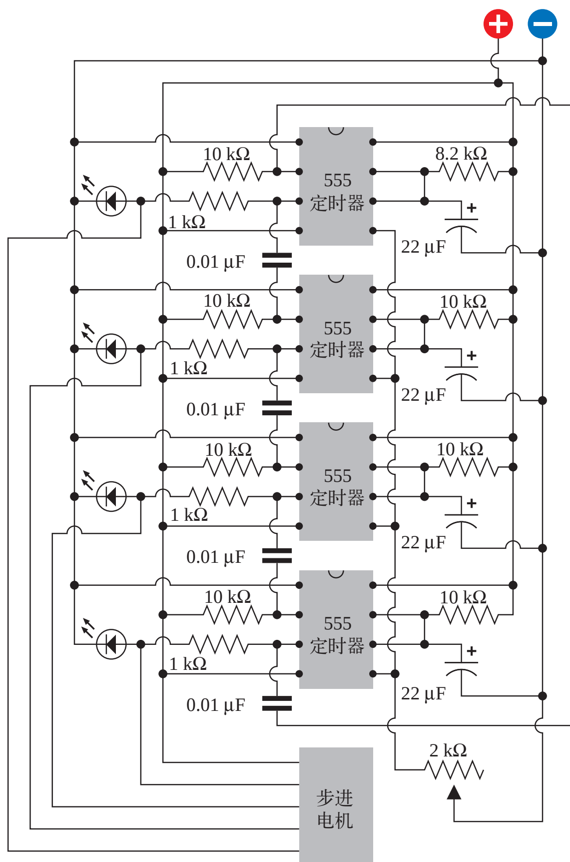


图 5-116 为了调节这一系列 555 定时器的速度，将这些定时器的控制引脚（引脚 5）连接在一起，并连接一个微调电位器来调节这些引脚与电源负端侧之间的电阻值

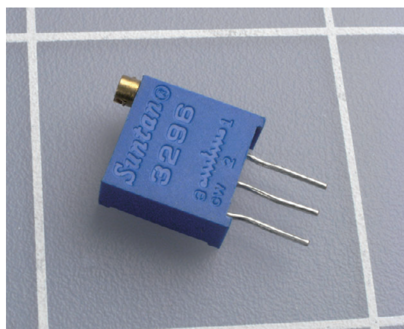


图 5-117　引脚间隔为 0.1 in，可插入面包板和模型电路板的微调电位器的特写镜头。利用左上角的黄铜旋钮来转动该元件内部的一个蜗杆传动机构，可以精确地调节内部的电阻

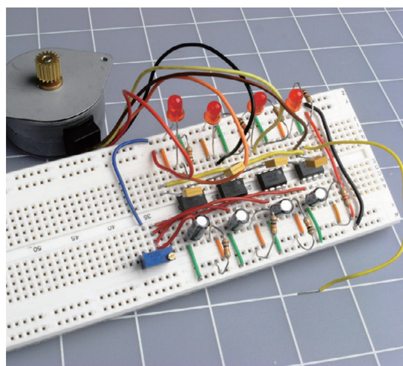


图 5-118　微调电位器已经加入电路，使得步进电机的速度可控

最初我之所以建议采用每步 0.25 s 的时间，只是为了让你能够看清楚所发生的事情。当你实际使用这个电路的时候，永远也不需要它运行这么慢。因此你可以增大整个速度范围。拿掉 22 μF 的定时电容器，代之以一个 4.7 μF 甚至更小的电容器。现在再调节电位器，就可以得到一个比较有用的速度范围。

加入自主能力

目前的电路只是简单地完成你让它做的事情。下一步是让它能够自主地完成这些事情——换句话说，就是要让它看起来似乎可以自己拿主意。我考虑把微调电位器替换掉，使用一个光电池来替换，其正确的名称应该是光敏电阻器。通常，硫化镉光敏电阻在暗处的电阻最高，而当光线照射在它上面时最低。

使用光敏电阻的一个问题是，它们不像其他类型的电阻元件那样随处可得。例如，若在 Mouser.com 搜索，你似乎找不到任何有关的东西。这一方面是因为 Mouser.com 的在线搜索功能是该网站的弱点，另一方面是因为 Mouser.com 不是面向电子爱好者的。你应该做的是进行一次“product search”（产品搜索）。到 http://www.google.com/products 上去，输入搜索词“CdS”（硫化镉）和“photocell”（光电池），你会发现大量廉价的硫化镉光敏电阻，它们可能来自来你从未听说过的地方。

由于光敏电阻器就跟直流电机一样，一拨又一拨，参数极不规律。我这里就不提供具体的型号了。你可以购买任何产品，只要其具有适当的最小电阻（在明亮灯光下）和最大电阻（在黑暗中）即可。如果你能找到电阻范围从 500 Ω 到 3 000 Ω 的，那很好；如果你只能找到最低电阻大于 500 Ω 的，那么可以考虑将两个并联起来使用。

装配光线追踪机器人

为什么要用光敏电阻器来控制步进电机的速度呢？因为我们的初衷是要制作一个受光线吸引的机器人。

其原理很简单，使用两个步进电机，每个电机控制小车一个轮子的速度。使用两个光敏电阻器，每个控制自己对面的步进电机的速度。当右侧的光敏电阻器拾取到较多光线时，它的电阻就变小，导致左侧的一组定时器运行加快，从而使左侧的轮子转速加快。这样一来，小车就将往灯光的方向转。图 5-119 说明了这个概念。

在你开始连接更多的 555 定时器之前，你可以考虑采用一个更为合适的器件来完成这个工作。ULN2001A 和 ULN2003A 是包含 Darlington

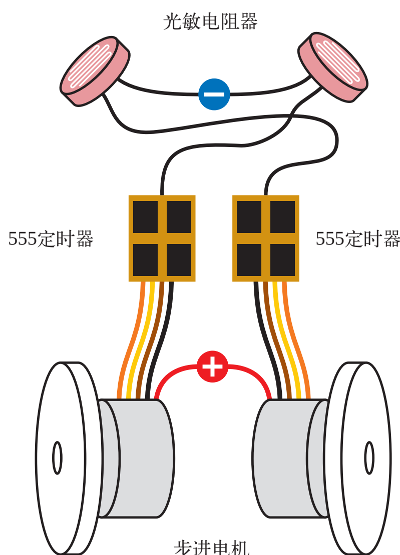


图 5-119 如果两个光敏电阻器控制两个 555 定时器阵列的速度，那么两个轮子间速度的差别会将小车转向光源的一侧

放大器的芯片，专用于给螺线管、继电器以及电机之类的感性负载提供电流。每个芯片有 7 个输入（仅需极小的电流），以及 7 个输出（每个都可提供 500 mA 的电流）。输入是 TTL 和 CMOS 兼容的（2001 A 的电压耐受范围比 2003A 宽），并且芯片的每个通道都有反相器的功能，因此当输入变高时，则输出变低并吸收电流。这正是我们的步进电机所需要的特性，因为步进电机具有共正极的连接。

ULN2001A 仅仅是一个放大器件，因此在它的前面，你必须提供一个计数器来从 1 到 4 计数并进行重复。你可以继续使用 555 定时器（因为你已经将它们安装好了），也可以用任何 CMOS 的八进制或十进制的计数器来代替定时器，将它们的输出脉冲送到一系列的引脚。只是需要用引脚 5 的输出作为“进位”输出，来重启计数过程。我建议使用 CMOS 的计数器仅仅是因为它运行的电压是 12 V，这样你就可以使用配合步进电机的同一个电源。

如果你改换到使用 CMOS 计数器，那么还需要一对 555 定时器来给计数器发送脉冲。定时器将自由地运行在非稳态，光敏电阻器则控制它们的速度。图 5-120 显示了这个配置。

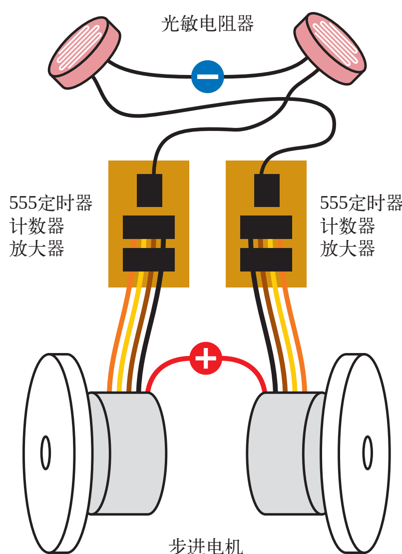


图 5-120　驱动步进电机的一个更为有效的方法是仅使用一个定时器来设置电机的速度，而利用一个计数器和一个放大器（例如 Darington 阵列芯片）来将脉冲送往导线。不过原理还是一样的

最后一样东西：一节 12 V 的电池。你当然可以将 8 节 AA 电池放在一起用，不过我认为你应该考虑使用一个可充电的电池组，这可以从 http://www.all-battery.com（它上面有一个“机器人电池”专区）之类的网上购得。

如果已经将所有东西装配在一起，你会发现当机器人小车位于照明十分不足的房间时，它会转向特别明亮、聚焦很好的闪光灯的光束。为了得到可靠的结果，你也许需要将各个光敏电阻器各放在一个管子里，以便当它们面对你的闪光灯时能够比没有对正时接收到更多的光线。图 5-121 是这个概念的 3D 渲染图。

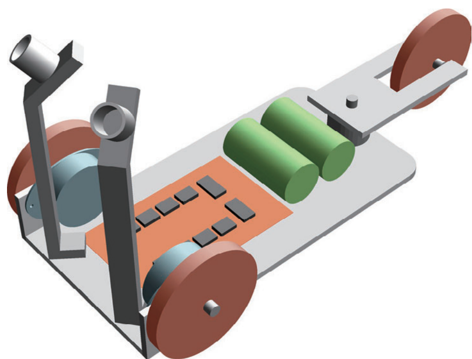


图 5-121 这个 3D 渲染图显示了寻光小车的一种可能构架，其中的两个光敏电阻器被封装在小管中，以限制它们对光的响应

另一个点子是改接小车的电路，以使其逃离灯光。你想的到该如何实现这个功能吗？

再多考虑一点：如果使用红外线光敏电阻器，你就可以在正常的房间照明下，使用红外线 LED 的光束来控制小车。如果你和几个朋友都有红外线发射器，小车就可以从一个人那里跑到另外一个人那里去，就像顺从的狗一样。

这已经把我们带到了机器人学的门口。如果你想要深入学习这一个主题，我强烈建议你去相关的网站看看。你也可以购买各种机器人套件，不过我还是认为只有发明或开发自己的东西更有乐趣。

现在剩下的唯一事情就是做最后的陈述：我要开发出一个会使我们的生活更容易的设备，即使这个设备比我们迄今开发过的任何设备都更为复杂也要坚持下去。

实验 34　硬件遭遇软件

到目前为止，我一直都遵循着“在实验中发现学问”的宗旨，要求你先做一个实验，然后再提出一些我们可以从中学到的基本原理和思想。但现在我不得不改变这个政策，因为接下来的这个实验牵涉到很多的准备工作，在你开始实验之前，我必须先告诉你预期的结果。

我们就将进入控制器芯片的世界。控制器芯片也常称作 MCU，是 Micro Controller Unit（微控制器单元）的缩写。MCU 中含有闪存，其中存储着你自己编写的程序。闪存类似于便携式媒体播放器中的存储体或者数码相机中的存储卡，它不需要专门供电。此外，这种芯片内有一个处理器，可以执行程序中的指令。它有 RAM 来临时储存变量的值，也有 ROM 来告诉它该如何去完成诸如感测变化的输入电压并将其转换成内部使用的数字形式一类的任务。它还包含一个精确的振荡器，以使其能够跟踪时间。将所有这些东西放在一起，就是一个微小的计算机，你只需不到 5 美元就可以买到。

让我们假定你有一个温室，需要将其温度保持在冰点以上。你安装了一个温度传感器，并有两个不同的加热器。当温度低于华氏 38° 时，你需要启动第一个加热器。但是当这个加热器由于某种原因损坏了的时候，那么当温度低于华氏 36° 时，你就要启动第二个加热器，即备用加热器。

对 MCU 进行编程，让其来承担以上这项任务是极其简单的一件事。你甚至还可以加入其他的特征，例如加入第二个温度传感器，以防备第一个传感器发生故障，并且你也可以告诉芯片采用给出较低读数的那个传感器的读数。

MCU 的另一个应用场合是要求特别严密的安保系统。MCU 芯片可以监视各个侵入传感器的状态，并可以根据传感器的状态，执行各种预先编写在程序中的对策。你当然也可以在其中设置延迟时间。

许多 MCU 还内置有附加的有用功能，例如能够控制伺服电机，让其在一个脉冲流的作用下，转到特定的角度。伺服电机广泛地应用在无线电控制的船模、航模以及业余爱好者的机器人中。

也许你现在有一些疑问，既然 MCU 能够完成所有这些任务，为什

么我们不从一开始就使用它们呢？如果一个芯片能够完成所有事情，我为什么还要花那么多时间，去描述用分离元件来开发报警器系统呢？

其答案在于以下 3 点。

(1) MCU 不是所有事情都能做。它们需要其他元件，例如晶体管、继电器、传感器、放大器等，来帮助其与外部世界交互。你需要知道这些东西的工作原理，以便能够灵活地使用它们。

(2) MCU 会带来一些跟软件和硬件相关的特有的问题与错误。关于这一点我在后面还会进一步讲解。

(3) MCU 也有局限和限制，最明显的是它们要求 5 V 的调压电源，并且它们的引脚都没有太大的吸收或供给电流的能力。它们还要求你学习一门编程语言（这种语言往往因 MCU 的品牌不同而不同）。为了把程序放入到芯片里面，你必须能够将 MCU 插在计算机上并进行下载，这并不是很方便的事情。

在这个实验中，你将学习如何给一个小而简单的 MCU 编写程序，并且你还需要将程序传输到 MCU 的里面并观看其工作的效果。

背景知识

可编程芯片的起源

在工厂和实验室中，许多过程是重复性的。例如，利用一个流量传感器的检测结果来控制一个加热元件；利用一个运动传感器的检测结果来调节电机的速度等。微控制器对于完成这种例行的任务是再合适不过的了。

通用仪器（General Instrument）公司在 1967 年引入了早期的 MCU 系列，称之为 PIC，意思是可编程智能计算机（Programmable Intelligent Computer），或者可编程接口控制器（Programmable Interface Controller），到底该用哪一个取决于你到底相信哪一个信息来源。通用仪器公司将这个商标卖给了另一个名叫微芯片技术（Microchip Technology）的公司，该公司至今仍拥有这个商标。

PIC 是一个商标，但有时却被当作一个基本术语来使用，就像 Scotch tape 意指透明胶带一样。在本书中，我选择了基于 PIC 构架的一个家族的控制器来进行介绍。该家族的控制器的名称是 PICAXE，是由名叫 Revolution Education Ltd. 的英国公司注册的。

这样命名除了听起来很酷之外，并没有明显的逻辑上的原因。

我之所以喜欢这个家族的微控制器，一方面是因为它们开发的初衷在于用作教育工具，另一方面在于它们很容易使用。它们很便宜，并且其中有些型号的功能还十分强大。尽管它们的名字很老，但我认为它们是熟悉 MCU 核心概念的最好方法。

在玩过 PICAXE 之后，如果你想要进一步学习 MCU 的话，我建议你学习 BASIC Stamp（它使用的语言跟 PICAXE 十分类似，只是增添了一些更强大的命令）以及十分普及的 Arduino（这是出现时间更晚的一种设计，封装了一些强大的功能，但是为了对它进行编程，你需要学习一种 C 语言的变种）这两种 MCU。我在稍后将对这些芯片做更多的介绍。

如果在维基百科上搜索“picaxe”，你将找到关于其各种特征的十分精彩的介绍。实际上，我认为它所做的介绍要比 PICAXE 网站的介绍还要清楚。

备用品

图 5-122 所示为 PICAXE 家族的一些芯片。我将教你如何使用其中最小的芯片——08M，它的价格低于 5 美元，要比我发现的任何其他 MCU 都便宜。它仅有 256 字节的存储体来存储程序（不是 G 字节、M 字节或 K 字节，而仅仅只有 256 字节），不过你会发现这一数量的存储体却可以实现多得惊人的可能性。图 5-123 所示为引脚安全地嵌在一片导电泡沫中的 08M 芯片的特写镜头。

在美国，这种芯片有 3 个分销商。

- http://www.advancedmicrocircuits.com
- http://www.phanderson.com/picaxe
- http://www.sparkfun.com

我喜欢 P.H. Anderson 公司，是因为其服务于草根电子爱好者的取向，而且当你想要购买多个芯片时，还可以享受到优惠的价格。不过 SparkFun Elctronics 公司除了提供这种芯片之外，还提供其他你也许会感兴趣的相关产品。

PICAXE-08M

Left function	Pin	Pin	Right function
+V	1	8	0V
Serial In	2	7	Out 0 / Serial Out / Infraout
ADC 4 / Out 4 / In 4	3	6	In 1 / Out 1 / ADC 1
Infrain / In 3	4	5	In 2 / Out 2 / ADC 2 / pwrn 2 / tune

PICAXE-14M

Left function	Pin	Pin	Right function
+V	1	14	0V
Serial In	2	13	Output 0 / Serial Out / Infraout
ADC 4 / Input 4	3	12	Output 1
ADC 4 / Input 3	4	11	Output 2
Input 2	5	10	Output 3
Input 1	6	9	Output 4
ADC 0 / Input 0	7	8	Output 5

PICAXE-18M

Left function	Pin	Pin	Right function
ADC 2 / Input 2	1	18	Input 1 / ADC 1
Serial Out	2	17	Input 0 / ADC 0 / Infrain
Serial In	3	16	Input 7 / keyboard data
Reset	4	15	Input 6 / keyboard clock
0V	5	14	+V
Output 0 / infraout	6	13	Output 7
Output 1	7	12	Output 6
Output 2	8	11	Output 5
Output 3 / pwm 3	9	10	Output 4

PICAXE-20M

Left function	Pin	Pin	Right function
+V	1	20	0V
Serial In	2	19	Serial Out
ADC 7 / Input 7	3	18	Output 0 / Infraout
Input 6	4	17	Output 1
Input 5	5	16	Output 2
Input 4	6	15	Output 3
ADC 3 / Input 3	7	14	Output 4
ADC 2 / Input 2	8	13	Output 5
ADC 1 / Input 1	9	12	Output 6
Infrain / Input 0	10	11	Output 7

PICAXE-18X

Left function	Pin	Pin	Right function
ADC 2 / Input 2	1	18	Input 1 / ADC 1
Serial Out	2	17	Input 0 / ADC 0 / Infrain
Serial In	3	16	Input 7 / keyboard data
Reset	4	15	Input 6 / keyboard clock
0V	5	14	+V
Output 0	6	13	Output 7
i2c sda / Output 1	7	12	Output 6
Output 2	8	11	Output 5
pwm 3 / Output 3	9	10	Output 4 / i2c sd

PICAXE-28X1

Left function	Pin	Pin	Right function
Reset	1	28	Output 7
ULPWU / ADC 0 / In a0	2	27	Output 6
ADC 1 / In a1	3	26	Output 5
ADC 2 / In a2	4	25	Output 4 / hpwm D
ADC 3 / In a3	5	24	Output 3
Serial In	6	23	Output 2 / hpwm B
Serial Out	7	22	Output 1 / hpwm C
0V	8	21	Output 0
Resonator	9	20	+V
Resonator	10	19	+V
timer clk / Out c0 /In 0	11	18	In 7 / Out c7 / hserin / kb data
pwm 1 / Out c1 /In 1	12	17	In 6 / Out c6 / hserout / kb clk
hpwm A / pwm 2 / Out c2 /In 2	13	16	In 5 / Out c5 / spi sdo
spi sck / i2c scl / Out c3 /In 3	14	15	In 4 / Out c4 / i2c sda / spi sdi

PICAXE-40X1

Left function	Pin	Pin	Right function
Reset	1	40	Output 7
ULPWU / ADC 0 / In a0	2	39	Output 6
ADC 1 / In a1	3	38	Output 5
ADC 2 / In a2	4	37	Output 4
ADC 3 / In a3	5	36	Output 3
Serial In	6	35	Output 2
Serial Out	7	34	Output 1
ADC 5	8	33	Output 0
ADC 6	9	32	+V
ADC 7	10	31	0V
+V	11	30	Input 7 / kb data
0V	12	29	Input 6 / kb clk
Resonator	13	28	Input 5
Resonator	14	27	Input 4
timer clk / Out c0 / In c0	15	26	In c7 / Out c7 / hserin
pwm 1 / Out c1 / In c1	16	25	In c6 / Out c6 / hserout
pwm 2 / Out c2 / In c2	17	24	In c5 / Out c5 / spi sdo
i2c scl / spi sck / Out c3 / In c3	18	23	In c4 / Out c4 / i2c sda / spi sdi
Input 0	19	22	Output 3
Input 1	20	21	Output 2

图 5-122　PICAXE 产品目录上的一页，上面列出了部分尚在出售的芯片。PICAXE 芯片定位于教育目的，但是却已经变成了一个十分有用的制作样机的工具

图 5-123 从一个美国分销商处购得的一片 PICAXE 08M，收到的芯片是嵌在一小块导电泡沫中的。这个芯片的面积跟 555 定时器相同，但是却有微型计算机的能力

所有这些分销商都想卖“入门套件”给你（譬如图 5-124 所示的那种），这也许是因为 PICAXE 本身太便宜了，它提供不了多少利润空间。不过就我们的目的来讲，你还是应该单独购买芯片，并且要购买两个（仅仅为了防备损坏，譬如接错电压引起损坏）。

图 5-124 典型的 PICAXE 套件包括一片印制电路板（这个你未必真的需要）以及其他一些不是完全必要的东西。但是（顶部中间的）3.5 mm 的立体声插孔却是绝对必要的

为了将你编写的指令下载到芯片中，首先必须在一台计算机上输入指令，然后再通过一条电缆将指令送入 PICAXE 的存储器中。因此需要购买一条电缆，并且还需要软件来帮助你编写程序。

PICAXE 芯片可以与串行电缆配合使用，但是我不推荐这样做。PC 中老的 RS232 串行通信标准几乎已经被淘汰了，PICAXE 芯片是通过提供的一条 USB 电缆（它的插头里面包含了一个串口转换器）来识别这个标准的。这种 USB 电缆要昂贵一点，但是更为简单，而且与苹果计算机兼容。可以从 PICAXE 芯片的任何美国经销商处买到 USB 电缆，其型号是 AXE027，在 http://www.sparkfun.com 上，还可以凭产品编号 PGM-08312 购买（数量：1 根）。图 5-125 所示为该电缆的照片。

为了编写自己的程序，并通过电缆将其下载到芯片上，所选用的工具是 PICAXE 程序编辑器。它只有 Windows 下的版本。对于那些喜欢 Max OS 或 Linux 系统的用户，可以免费下载另一个软件，名叫 AXEpad，它的功能较少，但也能完成这个工作。所有这些可下载的软件都可以从 http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/software.htm 上免费下载。



图 5-125　这根 USB 电缆是专门用来与位于 3.5 mm 的音频插孔中的 PICAXE 端子配合使用的。不要误将其插在任何的音频设备上。它是用来与计算机建立串行连接的，以便将程序代码下载到芯片中

最后，你需要一个焊有接头的 3.5 mm 的立体声插孔。其原因在于，PICAXE 芯片的制造厂家在 USB 电缆的自由端使用了一个立体声插头，因此你必须将其插入某样东西里面来把信号引出。PICAXE 面包板转接器（SparkFun 的库存编号是 DEV-08331）包含有所需的立体声插孔以及另外几样东西，数量：1 个。见图 5-126。

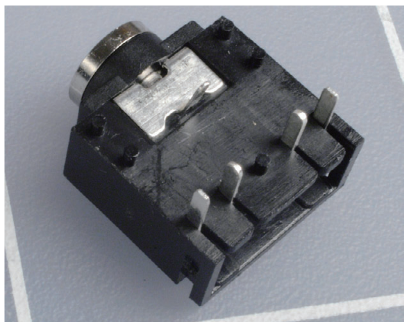


图 5-126　与 USB 电缆配合使用的 3.5 mm 立体声插孔的特写镜头

够奇怪的了吧，USB 电缆是这些东西中最贵的一个（因为其内部隐藏着电子电路）！

软件安装与设置

现在你必须进行一系列的设置。没有办法绕过这个设置过程。你需要做的事情有以下几件。

(1) 安装驱动程序，以便你的计算机能够识别这个特殊的 USB 电缆。

(2) 安装 PICAXE 程序编辑器（或者 Mac/Linux 系统下的 AXEpad）软件，以便可以在计算机上编写程序并可以下载到芯片。

(3) 将 PICAXE 芯片安装在面包板上，并加上插座来接收下载的程序代码。

在下面的几个小节里，将对这些步骤作解释。

USB 驱动

合理的警告：如果你试图使用 PICAXE 网站上的搜索功能，也许找不到你想要的东西。例如，你想找“USB Driver”，但它就好像从来没有听说这个东西似的。

PICAXE 主页上的下拉菜单也有点恼人，当你想要点击它的时候，它却不见了，不过在你写的时候，可以跳过这些东西直接去软件下载的页面（http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/ software.htm）。

往下滚过所有的软件，直到附加资源的位置。找到 AXE027 PICAXE USB 下载电缆。初看起来，以为它们想卖电缆给你，但实际上这是驱动的列表。双击一个适合你的计算机的选项，并在计算机上选择一个下载的存放位置——一个容易找到的地方，譬如桌面。

> 小心，不要错误地下载USB010 USB-Serial adapter（USB－串口转换器）的驱动程序。USB－串口转换器是完全不同的东西。

下载下来的是一个压缩文档。你需要将其解压。在 Windos XP 系统中，按鼠标右键点击该压缩文档，并选择“全部释放”。查看释放的文件，可以看到一个 PDF 格式的安装向导文件。Linux 系统和 Mac 系统的用户目前则可以在 http://www.rev-ed.co.uk/docs/AXE027.pdf 处找到安

装指南。

当在 Windows 平台下安装驱动程序时，有几条贴士可以将你的恼怒减小到最低程度。

(1) 请记住，那条特殊的 USB 电缆中包含有电子电路。它不仅仅是一条电缆，而且是一个专门设计用来与 PICAXE 通信的设备。**不要试图用它来干任何其他的事情**！

(2) 在安装驱动程序之前，你必须先将该 USB 电缆插入 USB 口，因为计算机需要核实驱动和电缆是否一致。

(3) 在驱动安装完成之前，你不能将 PICAXE 接在该电缆的另外一端。

(4) 计算机上的每一个 USB 口都有一个独立的标识。你第一次选用哪个 USB 口来插入电缆，以后每次都必须使用该口。否则的话，你就必须重新告诉计算机该电缆是什么电缆。

(5) 将以上的第 (4) 点记在心上，并且要避免在一个单独的 USB 扩展口上使用该电缆。

(6) 该电缆采用欺骗方式，让 PICAXE 以为自己在同你计算机上的一个串口通信。这种“通信”串口被称作 COM_1、COM_2、COM_3 或者 COM_4。当安装驱动程序时，安装程序将为你选择其中的一个 COM 口，以后你必须知道它到底是哪一个口。PDF 指南应该可以帮助你完成这个安装过程。但是很遗憾的是，你无法跳过这个过程。

程序编辑软件

如果能够顺利地学到这里，那你就可以开始下一个大步的工作了，它相对容易些。你需要使用 PICAXE 程序编辑器，它可以从你找到 USB 驱动程序的软件下载网页上免费下载（如果使用的是 Mac 或 Linux 操作系统，那么你需要 AXEpad，这也可以在同一个网页上下载）。

下载和安装 PICAXE 程序编辑器是一件简单、容易的事情。一旦完成安装，你就会发现它在桌面上建立了一个快捷方式。双击运行它，打开其 View → Options 菜单，在打开的窗口（如图 5-127 所示）中，点击“Serial Port（串口）”标签，你将看到一个类似图 5-128 那样的对话框。现在需要确保程序编辑器和 USB 驱动程序选定的是同一个 COM 口。否则，程序编辑器将不知道去哪里找 PICAXE 芯片。

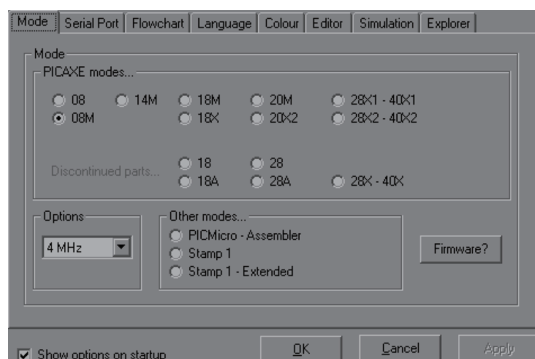


图 5-127　这个屏幕快照显示的是 PICAXE 程序编辑器的“options”窗口，你需要在其中选择自己想要编程的芯片型号（在案例中是 08M）

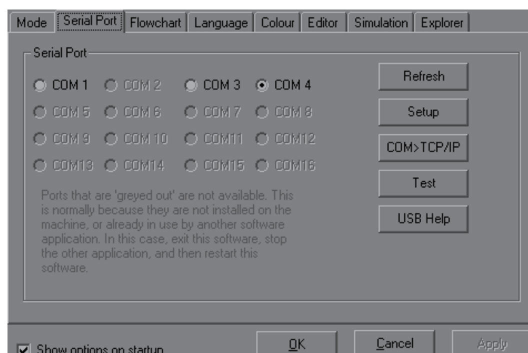


图 5-128　“options”窗口的另外一个屏幕快照，所显示的是你必须进行的第二个基本的选择：选出驱动程序在你的计算机选用的 COM 口

在程序编辑器中，选择 View → Options 菜单，点击“Mode”标签，然后点击单选按钮选择“08M”芯片。

你还觉得好玩吗？显然，除了一直在与软件问题鏖战之外，已经感觉不到什么好玩的了。在使用 PICAXE 之前，还有最后一个步骤，就是要将 PICAXE 芯片以及它的插座安装在面包板上。

安装硬件

PICAXE 08M 看起来就像一个 555 定时器芯片（PICAXE 家族的其他芯片都有更多的引脚和更多的功能）。它要求一个经过适当调整的 5 V 电源，就像我们以前用过的逻辑芯片一样。实际上，设计 PICAXE 芯片

的人特别害怕电压尖峰对该种芯片产生伤害。他们要求你在 LM7805 调压器的每一侧都使用两个电容器（一个 100 μF，一个 0.1 μF）。这看起来有点防护过度，不过要是 PICAXE 坏了的话，替换起来可要比替换 555 定时器困难多了。你肯定无法跑到 RadioShack 店里买到一枚 PICAXE 芯片。以防万一，就让我们按照制造商的说法去做，像图 5-129 和图 5-130 所示的那样搭建面包板电路。

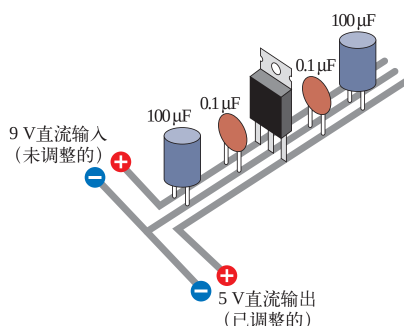


图 5-129　在 PICAXE 的文档中，指定在 5 V 调压器的输入侧使用一个 100 μF 和一个 0.1 μF 的电容器，在输出侧也要求同样的一对电容器。在面包板上，可以如图排列来满足以上要求

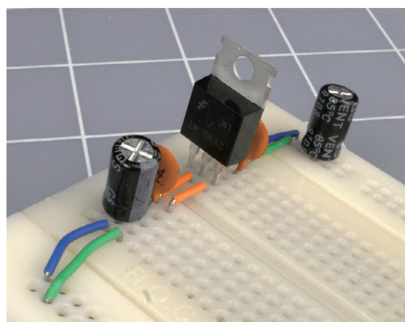


图 5-130　调压器在面包板上安装好之后，看到的实际元件。它将 5 V 电压（的正、负端）同时输送到面包板的两侧

现在来看芯片本身。请注意其正、负电源引脚正好跟 555 定时器的相反，因此要特别小心！

请根据图 5-131 的电路原理图来搭建面包板电路。请注意该图中绘出的立体声插座是下侧朝上的，这是因为在面包板上你必须这样来使用立体声插座。如果你试着将立体声插座的引脚插入面包板的孔里，虽然这会配合得很好，但是当你将插头插入插槽中时，由于插头很粗大，会导致插座往外升起而导致其引脚失去连接。我想到的解决办法是在插座的引脚上焊接导线，然后再将导线插到面包板上，如图 5-133 所示。

请注意 PICAXE 手册上显示元件的方式跟本书有所不同（尽管我保留了它的插座和插头部件的标记惯例，即用 *a*、*b* 和 *c* 来标记）。

和 PICAXE 芯片配合使用的插座的一个小细节：它通常有两对用于连接的触点，在手册中以及在我绘制的原理图中，它们分别被标记为 *b* 和 *c*。当你焊接一个连接时，你的焊点应该包括每对触点中的两个触点，如图 5-132 所示。

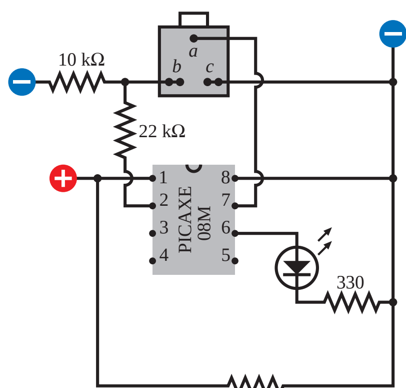


图 5-131 PICAXE 08M 芯片的测试电路原理图。图中的立体声插座是底面朝上的，输入侧的两个必需的电阻器分别为 10 kΩ 和 22 kΩ，一个 LED 用于对芯片的输出进行显示

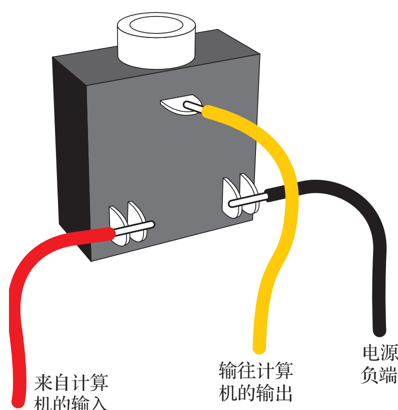


图 5-132 插座的正确连线是极其重要的。在你把导线焊接到下方端子的时候，请确保将导线连接到每对端子的两个端子上

请记住 PICAXE 必须使用 5 V 的直流电源，并且要记住，只有当你在输入侧加上一个更高的电压时，调压器才能可靠地输出 5 V 的直流电压。如果你给调压器提供 9 V 的输入电压，这将为其提供一个相当数量的裕度。

在使用这个芯片时，22 kΩ 和 10 kΩ 的电阻器是必须的，具体请见下面警告文字的解释。在我的电路原理图中还有一个 330 Ω 的电阻器和一个 LED，不过它们仅仅在我即刻要做的测试中用到。



引脚2下拉

在图5-131所示的配置中，22 kΩ和10 kΩ的电阻器是必需的。这些电阻器将给串口连接提供正确的电压，而在单独使用PICAXE时，它们则可以将引脚2上的电压下拉到电源的负端。

如果引脚2不连接（浮位），它可能会拾取到随机的电压，这可能会被芯片误解为一个新的程序或指令，从而产生不可预测和不希望的结果。

不论你是否将PICAXE芯片连接到计算机，22 kΩ和10 kΩ的电阻器都应该被看成是伴随PICAXE芯片的永久性元件。

核实连接

在每次你要对 PICAXE 进行编程或重新编程时，请小心地遵循以下的步骤。

(1) 将你的 PICAXE 电缆的 USB 插头插入你以前使用的同一个 USB 口中。

(2) 启动 PICAXE 程序编辑器（如果你使用的是 Max OS 或者 Linux 操作系统的话，请使用 AXEpad）。

(3) 在程序编辑器中，选择 View → Options 菜单以验证程序编辑器使用的是正确的 COM 口，并且选中的是 08M PICAXE 芯片。

(4) 将 USB 电缆自由端的立体声插头插入已经连接在面包板上的立体声插座里。见图 5-133 和图 5-134。

(5) 检查你的连线，然后给面包板加上电源。

(6) 点击程序编辑器窗口上的 Program 按钮，告诉软件去寻找 PICAXE 芯片。

故障排除

第一件要做的事情是从 PICAXE 芯片所在的面包板上拔下 USB 电缆的插头，让电缆的另一端继续接在计算机上。将万用表设置到直流电压档，将其探针接到插

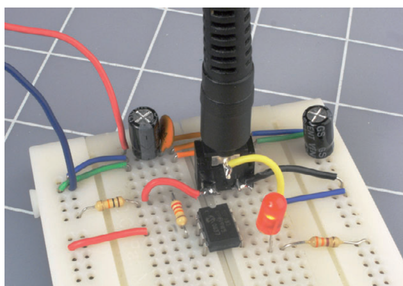


图 5-133 测试电路原理图的面包板版本，USB 下载电路的插头已经插在面包板上的插座里。现在 PICAXE 芯片已经可以接收下载的程序并可以立即执行之

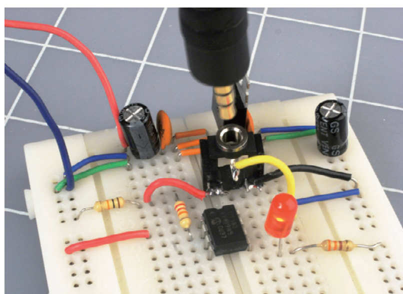


图 5-134 在程序下载以后，就可以将插头拔掉，程序将连续运行，导致 LED 不停地闪光

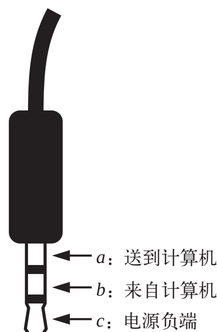


图 5-135 USB 下载电缆端部的立体声插头可以用做故障跟踪。将万用表设置在直流电压档，并将其接在插头的 b 和 c 部分，可以判断程序编辑器是否往串口连接上发送数据

头的 *b* 和 *c* 部分（见图 5-135）。然后再次点击 Program 按钮，你的万用表应该显示出有一个 5 V 的电压短暂地从计算机上输出到电缆自由端的插头上。

如果你检测到了这个电压，那么软件就已安装并运行正常。这样的话，问题就出在面包板上，要么是芯片的问题，要么是其周围连线的问题。

如果你检测不到任何电压，那么也许是软件安装不正确，或者是它寻找的串口号不对。请试着卸载程序并重新安装。

你的第一个程序

最后你终于可以建立自己的第一个程序了。在程序编辑器窗口中，输入以下的代码。

```
main:
    high 1
    pause 1000
    low 1
    pause 1000
    goto main
```

请确保在第一行的 main 后面有一个冒号，见图 5-136 的屏幕截图。程序中的缩进是用 Tab 键来产生的，其唯一的用途就是为了使程序更易读，软件会忽略它们。

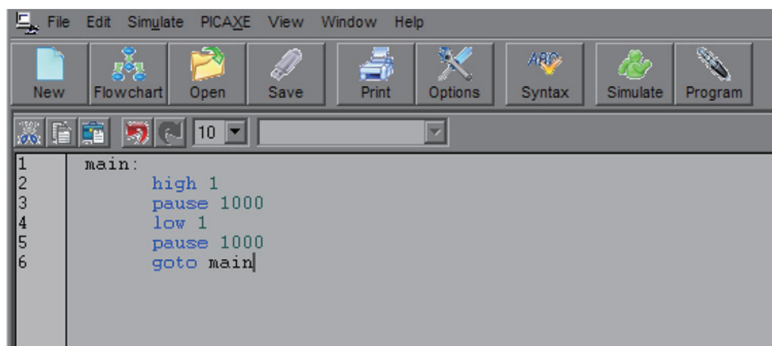


图 5-136 这个屏幕截图显示了我们的第一个测试程序在程序编辑器（Windows 系统的计算机）中显示的样子

点击程序编辑器上的 Program 按钮来将这个程序下载到芯片里。一旦下载完成，芯片就将开始让 LED 闪烁，点亮 1 s 然后再熄灭 1 s。图 5-137 显示了给芯片编程时需要遵循的步骤。

现在是有趣的部分，断开 USB 电缆和面包板的连接。该芯片应该继续使 LED 闪烁。

断开面包板的电源，并等待一到两分钟以便电容器失去其电荷。重新加电，芯片将再次开始让 LED 闪烁。

你下载到芯片的程序将保持在芯片内部的存储器中，每次给芯片加电时，它就将开始运行。

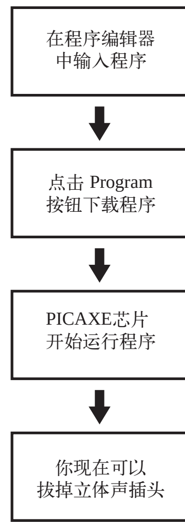


图 5-137　在 PICAXE 控制器芯片上创建并运行程序的步骤

代码解析

让我们来看看你输入的小程序。程序的第一行用来标识程序的一个段。这个程序只有一个段，我们称之为 main 段。在任何单词的后面跟一个冒号就命名程序的一个段，例如：

```
main:
```

第二行告诉芯片从逻辑引脚 1 发出一个高电平：

```
high 1
```

程序的第三行告诉芯片等待 1 000 ms（即 1 s）：

```
pause  1000
```

第四行告诉芯片将逻辑引脚 1 拉回到低电平：

```
low 1
```

第五行告诉芯片等待另一个 1 000 ms：

```
pause 1000
```

最后一行告诉芯片返回到 main 段的开头：

```
goto main
```

程序不使用芯片上通常的引脚编号，而使用我所谓的“逻辑引脚编号”。图5-138显示了逻辑引脚的编号方法。图5-139显示了逻辑引脚的多重功能。我将逻辑引脚0用括号括起来，这是因为其主要功能是通过USB电缆往计算机发送数据。它可以起另一个作用，即用作数据输出，但是你必须先将其与USB电缆断开。由于这一点很容易忘记，从而带来麻烦，因此我宁肯避免这种用法。

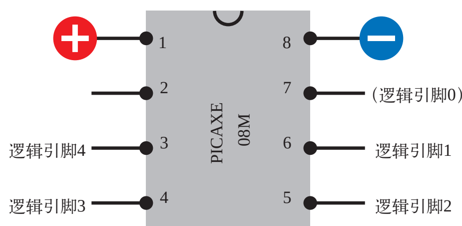


图 5-138　PICAXE 芯片的传统引脚号与 PICAXE 编程语言中使用的引脚编号系统不兼容。为了减小混淆，在给芯片编程时，将编程所用的引脚编号系统称作“逻辑引脚”

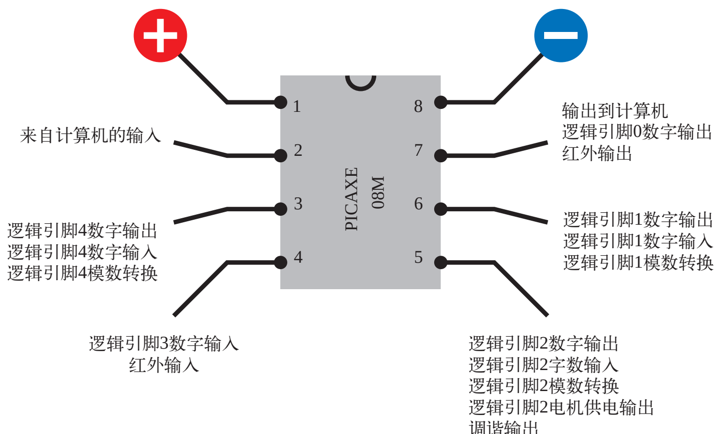


图 5-139　PICAXE 08M 芯片上的许多引脚都有多重功能，可以使用适当的程序指令来进行选择

编辑代码

如果想修改程序，能行吗？没问题！让我们用程序编辑器来修改程序中的一行看看。例如用 100 ms 代替 1 000 ms（pause 命令后面可以跟最大为 65535 的任何数）。在你的程序中，在任何你自己确定的数字里面请不要使用表示千分位的逗号。

再次将 USB 电缆插入面包板上，点击屏幕上的 Program 按钮，新版的程序将自动下载到芯片中，覆盖老的版本。

如果你想要保存程序将来使用，该怎么办呢？只需到程序编辑器的 File 菜单，将程序保存在计算机的硬盘中就可以了。由于 PICAXE 使用的是 BASIC 计算机语言的一个变种，它会给你保存的程序添加 .bas 扩展名。

仿真

如果你犯了一个简单的录入错误，程序编辑器将发现它，并阻止你下载程序。如何修改好包含有错误的那一行则是你的任务。

即使你的程序中的所有语句都输入正确，也最好在下载程序之前，先做一下仿真，看看程序到底能做出什么来。这一点很容易做到，点击程序编辑器的菜单条中的 Simulate（仿真）按钮就可以了。然后会打开一个新的窗口，显示出 PICAXE 芯片的轮廓图，并将各个引脚的状态展示在你面前（请注意，如果你使用了十分短暂的 pause 命令，那么仿真器将没法运行得足够快，因此难以精确显示时间）。图 5-140 所示为仿真时的一个屏幕截屏。

> 你需要查看PICAXE文档的第二部分，其中包含了所有的编程语句及其正确语法。在写作本书的时候，该文档的存储地址为http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual2.pdf。

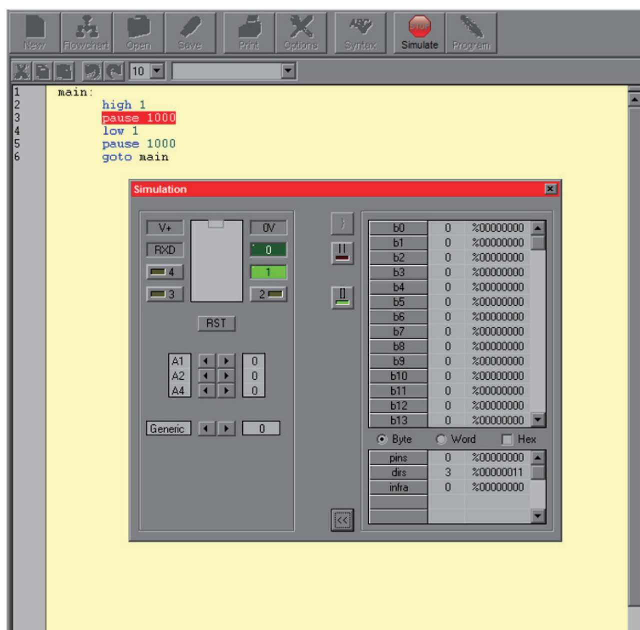


图 5-140　这个屏幕截图显示的是仿真窗口。在下载程序到芯片中之前，可以打开这个窗口来测试程序代码。变量的值显示在右边。引脚的状态显示在左边

点击仿真窗口右下角的“>>”按钮将打开一个列表，列出你的程序中的所有变量。到目前为止，其中还没有任何变量，不过很快就会有的。右侧的所有 0 都是二进制数字，你目前可以忽略它们。

循环

这里有另一个东西我希望你去试试。将你的程序重写成以下的样子，并下载到 PICAXE 芯片上。

```
main:
    for b0 = 1 to 5
        high 1
        pause 200
        low 1
        pause 200
    next
    wait 2
    goto main
```

请注意其中的 b0 是字母 b 后面跟数字零，而不是字目 b 后面跟字母 O。程序中再次加入了另外的缩进，目的是为了让程序更容易理解。从 high 1 开始到 pause 200 结束的这 4 行语句将被重复执行。把它们看成一个语句块将有助于理解。

观察 LED 灯，看看有什么事情发生。它应该快速地闪烁 5 次，然后等待 2 s，然后再重复。你刚刚已经在程序中加入了一个循环。如果你希望某样事情发生不止一次，那么就可以使用循环。

b0 被称作**变量**。可以将其想象成一个小小的“记忆盒子”，其名字 b0 写在外部的一个标签上。图 5-141 表示了这个概念。这个特别的记忆盒子中可以包含从 0 到 255 的所有数字。循环开始时，会告诉处理器将数字 1 放入盒子中，然后处理其余的语句，直到 next 将处理器送回到第二行，在此点处



图 5-141　为了理解一个程序是如何运行的，可以将变量想象成一个“记忆盒子”，它的名字写在外侧，数字装在里面

理器会给 b0 里面的东西增加 1。如果 b0 的值为 5 或者比 5 小，循环就会继续。如果其值为 6，那么循环已经运行 5 次，就应该结束，因此 PICAXE 会跳到 next 语句之后的 wait 2 语句。请看图 5-142 所示程序清单的注释版本。

wait 这个 PICAXE 命令是以整秒为单位计算时间的，因此 wait 2 就是等待 2 s。然后 goto main 语句又重新开始整个程序。

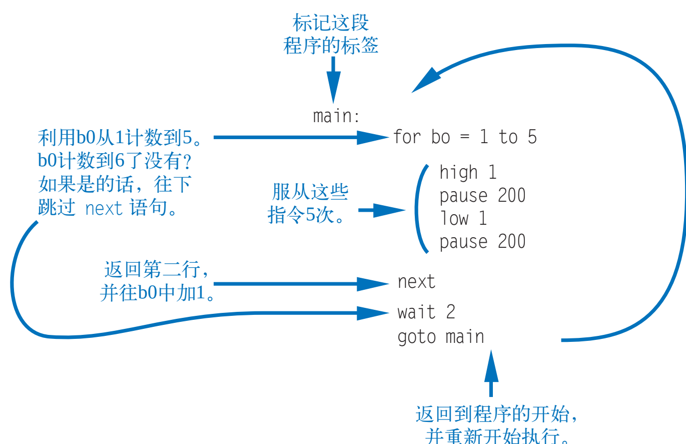


图 5-142 图中蓝色的标注文字解释了右侧的程序在告诉 PICAXE 该去做什么

如果你的闪光演示程序能够按计划工作，那么就可以进入下一个步骤，让这个芯片做一些更有用的事情。

基础知识

PICAXE的基本参数

以下是 PICAXE 芯片的一些最有用的参数。

- PICAXE 芯片要求 5 V 的直流调整电压。
- PICAXE 芯片的输入、输出和 5 V 的逻辑芯片是兼容的。你可以直接将其与其他逻辑芯片相连。
- 每个 PICAXE 引脚可以吸收或者供给最多 20 mA 的电流。整个芯片最多可以供给 90 mA 的电流。这意味着你可以直接利用其引脚来驱动 LED 或压电噪声产生器（它吸收的电流很小），或者晶体管。

- ❐ 你可以使用（在前一个实验中提到过的）ULN2001A 达林顿阵列之类的芯片，来放大 PICAXE 的输出，以驱动继电器或者电机之类的东西。
- ❐ 芯片执行程序中每条指令的时间大约为 0.1 ms。
- ❐ 08M 芯片的闪存可以保存大约 80 行的程序代码。其他 PICAXE 芯片具有更多的存储体。
- ❐ PICAXE 提供从 b0 到 b13 的 14 个变量。其中“b”代表“byte（字节）”，因为每个变量占用单个字节。每个变量可以保存从 0 到 255 的数值。
- ❐ 变量中不允许负数和小数。
- ❐ 另外还有 7 个双字节的变量，名称为从 w0 到 w6。其中“w”代表“word（字）”。每个可以保存的数值范围为 0 到 65535。
- ❐ “b”变量同“w”变量共享相同的存储空间。因此：

  – b0 和 b1 跟 w0 使用相同的字节；

  – b2 和 b3 跟 w1 使用相同的字节；

  – b4 和 b5 跟 w2 使用相同的字节；

  – b6 和 b7 跟 w3 使用相同的字节；

  – b8 和 b9 跟 w4 使用相同的字节；

  – b10 和 b11 跟 w5 使用相同的字节；

  – b12 和 b13 跟 w6 使用相同的字节。

  所以，如果你使用了变量 w0，就不要再使用 b0 和 b1。如果你使用了变量 b6，就不要使用 w3，如此等等。
- ❐ 变量值保存在 RAM 中，断开电源后就会消失。
- ❐ 程序保存在非易失的存储体中，断开电源后，不会受到影响。
- ❐ 制造商给出的参数声称其非易失的存储体可以重写大约 100 000 次。
- ❐ 如果你想要在其一个引脚上接一个开关或按钮来作为输入，那么你应该在该引脚与电源的负端之间添加 10 kΩ 的下拉电阻器，以便当开关断开时能够将引脚保持在低电平。图 5-143 显示了下拉电阻器与单刀单掷开关或按钮连接的方法。

- ❒ 在 08M 芯片中，如果你在逻辑引脚 1、2 或 4 与电源负端之间施加一个变化的电压，芯片就会测量这个电压，并“决定”去干什么。这就是“模数转换”功能——这将把我们带往下一个实验。

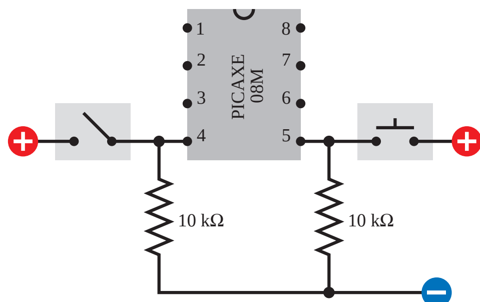


图 5-143 PICAXE 芯片能够对接在其具有输入能力的引脚上的开关或按钮的状态做出响应。当开关或按钮的触点断开时，必须使用一个 10 kΩ 的电阻器来下拉引脚的状态。否则的话，你可能会得到不可预料的结果

实验 35 检测真实的世界

我们常常希望微控制器可以测量某样东西，并以适当的方式做出响应。例如，它可以测量出低温并发出报警声，正如我在以前的实验中建议的那样。

PICAXE 具有 3 个内建的模数转换器（ADC），可通过逻辑引脚 1、2 和 4 来使用，如图 5-139 所示。使用它们的最好方法是在它们上面施加一个在 0 V 到 5 V 之间的电压。在这个实验中，我将告诉你如何对芯片的响应进行标定。

以下你需要用到的东西。

- ❒ 微调电位器，2 kΩ 的，数量：1 个。
- ❒ PICAXE 08M 芯片以及相应的 USB 电缆和插座，数量：各 1 个。

步骤

使用实验 32 中用过的同一个微调电位器，将其中心端子连接到 PICAXE 芯片的逻辑引脚 2（即硬件引脚 5）。2 kΩ 微调电位器的另外两个引脚分别连接到电源的正负端。这样一来，根据你对微调电位器的设

置不同，PICAXE 的引脚可以是直接连接到电源的正端（调到刻度的一端时），或者直接连接到电源的负端（调到刻度的另一端时），或者连接到二者之间的某个地方。请看图 5-144 这个改版后的电路原理图，以及图 5-145 的面包板电路照片。

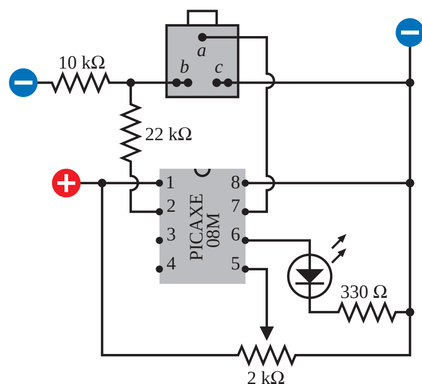


图 5-144 这个电路原理图的元件布局适合于在面包板上实现。该图说明了用 2 kΩ 的电位器来给 PICAXE 芯片的模数转换逻辑引脚施加可变电压的方法

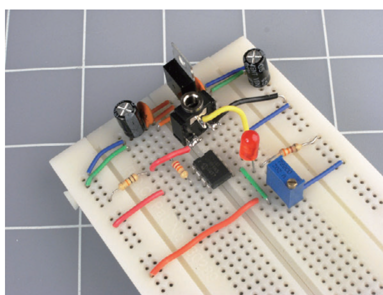


图 5-145 在上一个面包板电路（图 5-134）中添加了微调电位器以后的电路

现在我们需要一个程序来告诉芯片该做什么。使用程序编辑器，开始一个新的文档。代码应该如下所示。

```
main:
    readadc 2,b0
    debug b0
    goto main
```

命令 readadc 2,b0 意味着“从逻辑引脚 2 上读取模拟输入，将其转换成数字值，并将结果存储在 b0 中”。

命令 debug b0 告诉芯片进入程序调试模式。在这种模式下，芯片利用 USB 电缆将程序运行时的所有变量值告诉程序编辑器。这些变量值将显示在一个调试窗口中。

下载程序到芯片，当程序开始执行时，调试窗口将会打开。开始调节微调电位器，同时观察 b0 的值，你将看到 b0 的值也在改变。

你可以建立一个表格，并绘制一个图形来显示逻辑引脚 2 和地之间的电阻值与 b0 的值之间的关系。只需从面包板上拔下微调电位器，用万用表测量其电阻值，然后增大其电阻值，譬如增大 200 Ω，再将其插

回到面包板上，并再次观察 b0 的值。

这是一件很累人的事情，不过给仪器定标永远是一件累人的事情——不管怎样，我还是决定替你做了这件事。所述的图形如图 5-146 所示。你还可以在下面的表格中看到原始的数据。我很高兴地看到 PICAXE 芯片对输入给出了十分精确、线性的响应。换句话说，图形是一条直线。

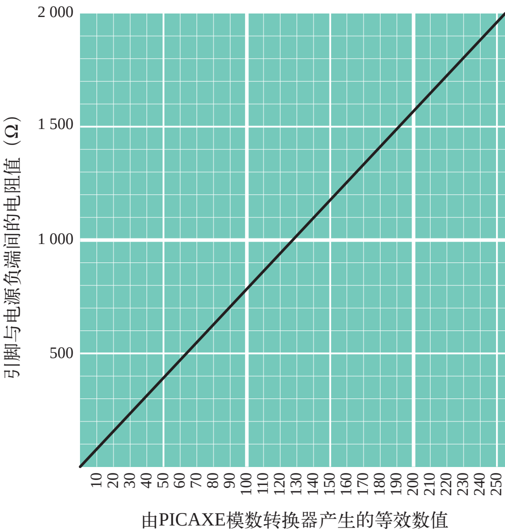


图 5-146 当一个 ADC 输入引脚连接到一个 2 kΩ 的电位器上，而电位器与芯片则连接在同一个供电电源上的时候，你会发现输入引脚与电源负端之间的电阻值将产生如图所示的一系列数字值。请注意电位器必须具有 2 kΩ 的电阻值，并且假定电源是精确的 5V

下表显示的是 PICAXE 08M 控制器测量所得的数值。

ADC 引脚与电源负端之间的电阻值（Ω）	等效数字值	ADC 引脚与电源负端之间的电阻值（Ω）	等效数字值
2 000	255	900	115
1 900	243	800	102
1 800	230	700	90
1 700	218	600	77
1 600	205	500	64
1 500	192	400	51
1 400	179	300	38
1 300	166	200	26
1 200	154	100	13
1 100	141	0	0
1 000	128		

现在我们可以修改程序，让它利用所获得的信息来做一点事情。

```
main:
    readadc 2,b0
    let w1 = 5 * b0
    high 1
    pause w1
    low 1
    pause w1
    goto main
```

请注意现在到底发生了什么事情。首先我们取得 b0 的值，然后在接下来的一行里，我们针对它进行了一点算术运算。星号表示“乘以”。因此该语句是在说：“拿出 b0 中的任何数值，乘以 5，将其放到另外一个变量 w1 中”。我们必须使用一个 w 变量，这是因为将 b0 的值乘以 5 时，我们也许会得到一个大于 255 的数——太大了无法放在一个单字节的变量中。

最后，我们拿出变量 w1，并将它用在一个 pause 语句中，代替固定的数值。我们其实是在对 PICAXE 说：“查看 w1 的值，无论你得到什么数，请停顿相应的毫秒数”。

因此软件的功能是检查一个可变电阻值，将其转换成数字，并应用这个数字来调整 LED 闪烁的速度。

回过头来考虑一下步进电机驱动小车的需要。它需要检查两个光敏电阻器的阻值，并相应地调节各个电机的速度。显然，这个 PICAXE 程序已经沿着该方向前进了一步。它可以测量一个引脚上的电压，并改变另外一个引脚上的输出频率。如果有两个 PICAXE 芯片，那么你可以给每个芯片都连接一个光敏电阻器和一个电机。然后你可以通过编辑前面程序的第二行来调节小车的行为，因为第二行的作用是将 b0 的值转换成 w1 的值，再将 w1 的值用在 pause 命令中，来确定每秒的脉冲个数。取代乘以 5，你可以乘以 7 或者乘以任何其他的数值，只要能够给你带来需要的结果就行了。由此得出了一个十分重要的结论：**可编程芯片的一个很大的优点就是你可以在软件中进行调整。**

由于 PICAXE 08M 芯片实际上不止一个 ADC 输入，并且有 3 个引脚可以用于输出，因此你也许会问，是否可以仅仅使用一个芯片来控制两个电机，以响应来自两个传感器的输入。问题在于，08M 芯片上的 3 个输出引脚同时也用作 3 个 ADC 输入引脚。你最好去购买一个更高级

的 PICAXE 芯片，譬如 18M，它拥有更多的引脚可供选择。它使用同样一组编程指令，并且价格也高不了多少。

此外，你也需要阅读 PICAXE 文档，查看 pwmout 命令，它是“pulse-width modulation output”（脉宽调制输出）的缩写，不过你可以将其看成是“power motor output”（驱动电机输出）的意思。这是专门用来驱动步进电机的。在芯片执行程序的其他指令时，pwmout 指令将建立一个连续的脉冲频率输出。

基础知识

其他特征

介绍 08M 芯片的完整指南会占用一整本书，而且这种书也已经存在（只需在 Amozon.com 网站上的图书部分搜索关键词“picaxe”即可找到）。不过在结束我对这种控制器的介绍之前，我要列出它的一些其他特征，以便你自己去查找、探索它们。然后我将提出最好一个实验。

中断

PICAXE 08M 让你可以设置一个“中断”。这个特征就是告诉芯片，让它留意如果出现中断的话是否有某个特定的事情发生，例如一个开关是否把电压加到了一个引脚上，它必须停止它所做的任何其他事情，来响应这个中断。

红外输入

PICAXE 08M 的一个引脚可以用于接收一个类似电视遥控器的装置（可以从出售 PICAXE 的同一个供应商那里买到）发出的红外信号。有了红外传感器接在芯片上，你就可以在远方发布命令。如果你想要搭建一个遥控机器人的话，这个芯片在设计上就专门考虑了这种应用。

伺服电机

每个 PICAXE 芯片都至少有一个引脚可以发送脉冲流来控制一种典型的伺服电机。在 08M 芯片上，这个引脚是逻辑引脚 2。每个脉冲的宽度告诉电机在停止之前，它应该从其中心位置转动多远。555 定时器可以发送这种脉冲流，但是 PICAXE 更容易做到。你可

以在线搜索到更多关于伺服电机的信息，这对于模型汽车的转向、调整航模的机翼、驱动机器人来讲，都是特别有用的。

音乐

PICAXE 芯片内部有一个音调发生器，你可以用“音调”命令来播放你自己用简单的代码写出来的曲子。

字母数字式输入 / 输出

在 PICAXE 家族的 20X2、28X1 和 28X2，以及 40X1 和 40X2 系列芯片中，有一个“kbin”编程命令。你可以往芯片上连接一个标准的计算机键盘，它将读取键入的字符。你也可以连接一个字母数字式的显示器，但是这些程序都不简单。例如，当你想要找出别人到底在键盘上按下了什么键时，你的程序就必须包含键盘产生的特殊十六进制代码的列表。

伪随机数的产生

所有的 PICAXE 模型都有内建的算法来产生伪随机数。如果你让用户按下一个按钮来初始化伪随机数发生器，通过测量其按下按钮所花费的任意的时间，就可以将该结果作为伪随机数发生器的种子，这样的话，这个伪随机数发生器将具有较少可重复的序列。

请访问 http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual1.pdf，以了解更多的内容。

实验 36　改进版的锁

我在实验 20 中描述的组合锁特别适合用微控制器来实现，因为它需要一系列类似于计算机程序的操作。我将教你如何用 PICAXE 08M 芯片来对这个项目进行重新设计，而将本书其他实验项目的转换问题留给你去考虑。

以下是你需要用到的东西。

- ❒ 实验 20 中推荐的同一类的小键盘和继电器。
- ❒ 一个晶体管或者达林顿陈列来放大 PICAXE 的输出，以使其能够驱动继电器。

获取用户输入

PICAXE 芯片的任何输入引脚都可以感知开关的闭合。麻烦在于我们只有 3 个引脚可以做这件事情，即使是最高级的 PICAXE 芯片也仅有不超过 10 个这样的引脚。因此我们怎样才能将一个 10 键的小键盘连接到 08M 上呢？

我有一个建议：给小键盘上的各个按键接上不同的电阻器，从而使不同的按键在同一个 ADC 引脚上施加的电压不同。然后使用 ADC 功能将电压转换成数值，并用一个可能数值的表格来判断到底是哪个键被按下。这也许不是最优雅的解决方案，但是它可行！

小键盘可以如图 5-147 那样接线。星号键仍然跟原来的实验一样，用于供电，英镑键也跟以前一样，在你的计算任务结束以后用其来对继电器进行复位。

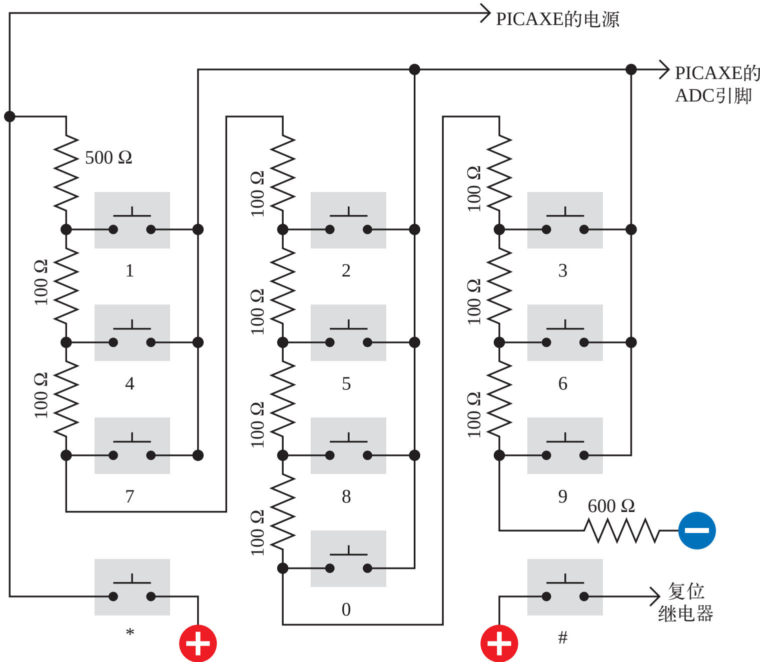


图 5-147 使用总共 2 kΩ 电阻值的一个电阻器链，可以快速、简单地将小键盘连接到 PICAXE 芯片来提供数字输入。当按钮按下时，它将把 ADC 输入引脚连接到电阻器链的某个点上。然后芯片中的程序可以对输入引脚检测到的电阻值进行转换，来确定到底是按下了哪一个键

电流依次流过一系列的电阻器，开始的那个电阻器为 500 Ω。由于这不是标准的电阻值，因此你要么用其他电阻值串联组合起来得到，要么通过预设一个微调电位器来得到。然后，每个按键通过一个 100 Ω 的电阻器与下一个按键隔开。最后，在链条的末端，一个 600 Ω 的电阻器将最后一个按钮与电源的负端隔开。同样，这也不是一个标准的电阻值，你也许要使用一个微调电位器来获得。

将所有这些电阻加在一块，得到的是 2 kΩ，这是 PICAXE 芯片希望我们使用的范围。当你按下一个按钮时，你就分接到电阻链中去了。按钮 9 在 PICAXE 的 ADC 引脚与地之间接入了 600 Ω 的电阻值。按钮 6 是 700 Ω，按钮 3 是 800 Ω，如此等等（你也许喜欢其他的按钮布局方式，以便电阻值的变化显得更有逻辑性，这是你的权利。我选择的布局方式是最容易在小键盘上绘制出来的）。

现在回过头去看看第 414 页表中提供的 ADC 数值。这些就是当你按下不同的小键盘按钮时应该得到的数值——不过你不要指望它们能够绝对精确，因为当你的电阻器的阻值不是十分精确的时候，以及当你的供电不正好是 5 V 的时候，这些值可能会有变化。例如，若说在电阻值为 600 Ω 时 PICAXE 芯片会精确地产生一个大小为 77 的 ADC 转换值，那将是不可靠的。但是如果说这个转换值将在 71 到 83 之间，却是比较有把握的。如下表所示，若我们为每个按键确定一个数值范围，那么我们将有相当好的机会正确地解释每个按钮。

按钮数字		数值范围
9	600	71~83
6	700	84~96
3	800	97~108
0	900	109~121
8	1 000	122~134
5	1 100	135~147
2	1 200	148~160
7	1 300	161~172
4	1 400	173~185
1	1 500	191~198

假定你将小键盘上的共用引脚连接到 PICAXE 芯片的 ADC 逻辑引脚 2 上。那么你现在就可以使用程序编辑器写出类似以下的程序。

```
getkey:
    readadc 2,b0
    let b1 = 9
    if b0 < 84 then finish
    let b1 = 6
    if b0 < 97 then finish
    let b1 = 3
    if b0 < 109 then finish
    let b1 = 0
    if b0 < 122 then finish
    let b1 = 8
    if b0 < 135 then finish
    let b1 = 5
    if b0 < 148 then finish
    let b1 = 2
    if b0 < 161 then finish
    let b1 = 7
    if b0 < 173 then finish
    let b1 = 4
    if b0 < 186 then finish
    let b1 = 2

finish:
    return
```

以上程序结尾的 return 是什么意思呢？我很快就将对其进行解释。我想先解释该程序的其余部分。

当数模转换器检查小键盘时，其产生的数值提供给 b0 保存。在数值保存到 b0 之后，程序必须搞清楚到底它同哪一个键相符。键的辨识符（0 到 9）则保存在另一个变量 b1 中。

程序开始时将数值 9 赋给变量 b1。然后它检查 b0<84 是否成立（这意味着“如果 b0 小于 84”）。如果是，程序就告诉 PICAXE 转到 finish（这意味着“跳转到 finish: 标号”）。但是如果 b0 不小于 84，那么在默认的情况下，PICAXE 将继续执行下一行，它将第二次猜测到底按下的是哪个键。它会将数字 6 赋给 b1。现在出现了另一个 if-then 测试，如此等等。给 b1 重新赋值的过程只有在 b0 的值大于表中的某个数值时才会停止。

如果你熟悉其他形式的 BASIC 语言，可能会觉得以上的程序有点繁琐。你可能会问，我们为什么不能使用一条下面这样的语句：

```
if b0 > 70 and b0 < 84 then b1 = 9
```

其答案在于 PICAXE 的 BASIC 语言还没有高级到可以允许这种格式。一个 if-then 语句必然导致一个往程序其他位置的跳转。这是唯一允许的出口。

如果你以前未曾有过任何的编程经验，这个程序对于你来讲也仍然有点繁琐，甚至还有点费解。这是可以理解的，因为你正在接受的是一个支离破碎的软件设计课程而没有任何正式的准备。然而 PICAXE 程序编辑器可以为你提供莫大的帮助，因为它具有仿真功能。不过在可以使用仿真功能之前，你必须在我刚刚提供的程序的前面输入一个控制程序。图 5-148 所示的屏幕截屏图显示了整个程序的样子。

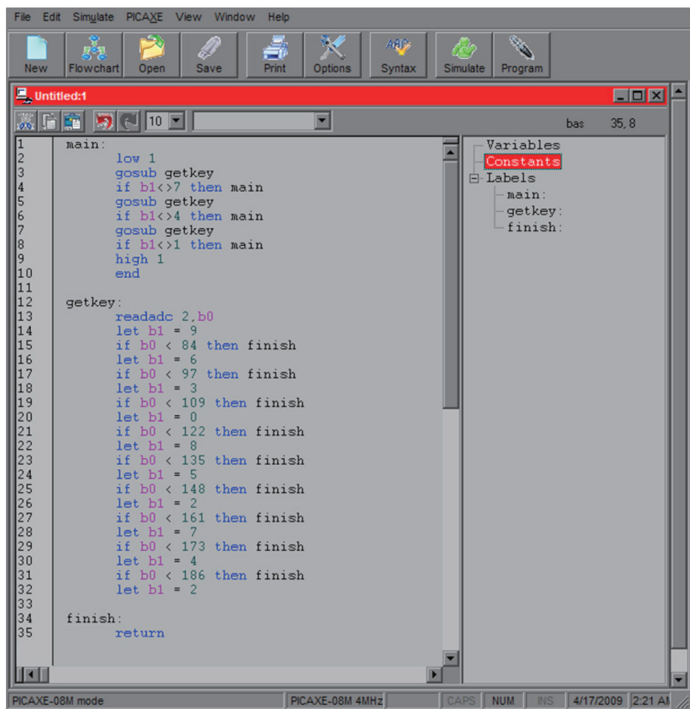


图 5-148　这个屏幕截图显示了一个完整的程序列表，该程序与组合锁结合，来读取三个按键序列。如果序列正确，PICAXE 将往其一个引脚发出一个高电平。如果序列不对，程序将循环回到开头为止

我为我们的组合锁选择了一个任意的组合 7-4-1。当使用这些数字组合时，程序的 main 段如下。

```
main:
    low 1
    gosub getkey
    if b1<>7 then main
    gosub getkey
    if b1<>4 then main
    gosub getkey
    if b1<>1 then main
    high 1
    end
```

需要解释的是，符号对 <> 表示“不等于”。因此程序的第四行意味着：“如果 b1 不等于 7”。

如果用户正在输入正确的组合，那么 b1 的值应为 7。如果不是 7，就说明用户输入了错误的数值，if-then 语句就会将 PICAXE 送回到程序的开头。事实上，任何时候只要用户输入的数字不是正确的顺序 7-4-1，程序就会将 PICAXE 送回到程序的开头。这正是这个实验的纯硬件版本的电路在搭建时所遵循的方法。

但是，gosub 是什么意思呢？它意味着“go to a subroutine”（进入一个子程序）。子程序是任何一个序列的程序语句，应以指令 return 结束。所以 gosub getkey 就是告诉 PICAXE 对程序当前的位置进行标记，并跳到名为 getkey: 的代码段去执行，直到它发现 return 语句为止，该语句会使 PICAXE 返回到它所来的地方。

PICAXE 会按以上的方式连续运行，直到它遇到 end。我必须加入 end，否则 PICAXE 将连续执行程序，并掉进子程序中。end 将停止 PICAXE 的运行。图 5-148 给出了程序完整列表的屏幕快照。

那么是不是这样就完整了呢？是的，这已经完整了。如果你严格按照我提供的样子将代码输入到程序编辑器中，那么你应该可以在仿真模式下运行该程序，并且在仿真窗口中，点击逻辑引脚 A2 旁边朝右的箭头来逐步增大其数值。每次在 getkey: 子程序中通过一个数值时，你应该可以看到变量 b1 的显示数值发生改变。

这正是运行组合锁的功能时你真正需要的一切。当 PICAXE 芯片运行这个程序时，它等待正确的组合。如果它接收到了正确的组合，就会从逻辑引脚 1 输出一个高电平；否则的话，逻辑引脚 1 将保持低电平。

唯一需要增加的一样东西就是一个晶体管或者一个 CMOS 门，用在逻辑引脚 1 和继电器之间来给计算机开锁，因为 PICAXE 本身无法提供足够的电流来驱动继电器。

将这个程序放在一个控制器芯片中不仅简化了电路，还提供了另外一个优点：你可以通过重写程序并往芯片下载新的版本来简单地改变按键组合。

基础知识

MCU的局限性

PICAXE 芯片确实也有一些缺点。光是它对电压的严格要求就使得你无法像使用 555 定时器那样自由地使用它。

此外，我只需将一片 555 定时器插在面包板上，并添加几个电阻器和电容器，就立即可以得到结果，而 PICAXE 则要求我添加一个下载插座，并将其连接到计算机上，在程序编辑器中写好程序，再下载程序。

有些人不喜欢写程序，或者难以适应计算机编程所要求的苛刻的左脑思维方式。他们也许喜欢组装硬件这样的手艺。

另外一些人则正好相反。这种情况当然跟个人的喜好有关，但是有一个毫无疑问的事实是，计算机程序中往往包含错误，它们也许需要几周甚至数月以后才能自己暴露出来。就拿 PICAXE 来讲，如果你给一个变量赋予一个超过其类型上限的数值，PICAXE 就保护不了你。假设 b1=200，b2=60，而你的程序告诉 PICAXE：

```
let b3 = b1 + b2
```

其结果应该是 260，但是单字节变量只能数到 255。因此会出现什么情况呢？你将发现 b3 得到的值为 4，但却不会给出任何的警告或解释。这就是所谓的“溢出错误”，它是很难预测的，因为它发生在运行的时候，是外部因素在起着控制作用。代码看起来很完美，程序编辑器没有发现任何的语法错误，仿真结果也很正常。但是在现实的世界里，数天甚至数月以后，出乎意料的一组环境因素导致一个输入引起溢出，而由于代码位于出错的芯片的内部，你也许会很难发现问题到底出现在哪里。

软件有软件的问题，硬件有硬件的优点。

基础知识

未及探索的领地

如果你花时间亲手完成了本书的大部分实验项目，那么你就已经对电子学的大多数基础有了十分快速的入门。

在这一路上你还遗落了什么没有呢？下面是一些十分值得你去探索的主题。如果对它们感兴趣的话，你自然应该在网上搜索一下这些主题。

我在本书中使用了非正式的、在实验中发现学问的方法，其特点是在理论方面着力较少。我绕过了大多数的数学知识，而在关于本书主题的任何一个更为严格的课程里，这些数学知识都是需要掌握的。如果你拥有很好的数学能力，你可以利用它来对电路工作的方式方法获得更加深入的认识。

我对计算机构架的介绍也不多。我没有深入地介绍二进制码，你也没有搭建半加器电路，这是从最基础的层面学习计算机功能的一个很好的方法。也许你应该考虑自己组装一台。

我避免了过多深入到交流电的迷人而神秘的性质中去。因为这里面也要牵涉一些数学知识，不过就交流电本身来讲，只有高频下的电流行为才是十分有趣的主题。

由于前面已经陈述的理由，我避免使用表面安装元件——不过你只需花费相对较少的投资，就可以自己进入这个领域（如果你喜欢制作特别微小的设备的话）。这也许是业余电子爱好者将来的发展方向，因此如果你坚持的话，你最终也许会进入到表面安装的世界。

电子管（真空管）没有提及，因为就目前来讲，它们的主要价值在于历史意义。关于电子管有一些特别而美丽的东西，尤其是在你可以将它们封装在一个奇特的细木家具里的时候。在一个能工巧匠的手里，电子管放大器和收音机可以变成艺术品。

我也没有教你如何蚀刻自己的印制电路板。这个任务只对某些人有吸引力，在蚀刻之前，你需要制作出十分整洁的图纸，或者使用计算机软件来完成制图任务。如果碰巧有这方面的条件，你也许希望蚀刻自己的板子。这将是使你自己的设备进行大批量生产的第一步。

本书完全没有覆盖静电学的内容。高电压火花在日常生活中并没太多的应用，但它们却会引起一些安全问题——它们给人们的印象极其深刻，你也很容易得到必要的信息来制作高电压设备。也许你应该试一试。

其他控制器

如果你需要某样更加强大的东西，那么 BASIC Stamp 家族的芯片将是 PICAXE 芯片之后下一个合乎逻辑、应该学习的内容。BASIC Stamp 之所以这样称呼，是因为它最初看起来像一枚邮票。BASIC Stamp 芯片具有较大的命令词汇和较宽范围的辅助设备（包括有图形能力的显示器、专用的小键盘）。BASIC Stamp 如图 5-149 所示。

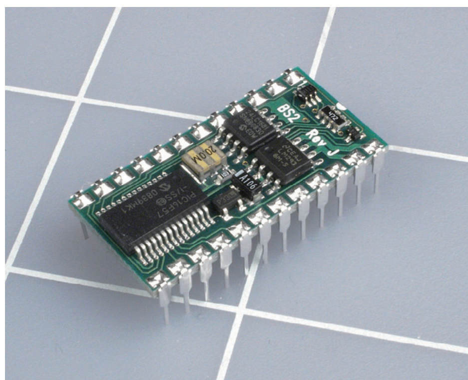


图 5-149 BASIC Stamp 控制器由一些表面安装的元件安装在一个引脚间隔为 1/10 in 的平台上，可以插在面包板上或者模型电路板上。该控制器使用一个跟 PICAXE 的编程语言十分相似的 BASIC 版本的编程语言，但是它拥有更多的扩展。BASIC Stamp 拥有大量的外围设备可供选择，包括许多的字母数字点阵显示器

从底部可以发现，跟 BASIC Stamp 相关的所有东西都要比 PICAXE 世界中的相应东西昂贵一点儿，其下载过程也不像 PICAXE 那么简单。

在 MCU 的世界里，最新的发展是 Arduino，它是一种既成熟又强大的芯片。它需要用 C 语言来进行编程。这种语言有点儿难于理解，它与 PICAXE 以及 BASIC Stamp 中使用的语法只有十分有限的相似性。另一方面，由于 C 语言占据了计算世界的大部分，因此学习这种语言也许不是什么坏事，何况 Arduino 还提供了一些确实令人惊奇的功能。由

于它是如此普及，因此有很多软件工具、文档、用户论坛以及许多的业余爱好者可以帮助你。另外有两本 Make 系列的图书，书名我以前已经提到过了，分别是 *Getting Started with Arduino* 以及 *Making Things Talk*，它们对 Arduino 提供了很好的入门介绍。

结语

我坚信入门书的目的就是要让你品尝各种可能性，留给你自己去决定下一步到底该探索什么。电子学对于我们这些喜欢自己制作东西的人来讲是最理想不过的了，因为它的几乎所有应用——从机器人到无线电遥控飞机，再到远程通信，到计算机硬件——都给我们提供了在有限的资源下在家里进行探索的机会。

随着你在自己最感兴趣的电子学领域里不断深入钻研，我相信你将获得满意的学习体验。最重要的是，我希望你能够在这一路上享受到许多乐趣。

附录 A　零售商及制造商的网址

这个附录包含了零售商及制造商的网址，以及它们的通用名及公司名称。

通 用 名	团体或公司名称	网　　址
3M	Minnesota Mining and Manufacturing Co.	http://solutions.3m.com/en_US/
Ace Hardware	Ace Hardware Corporation	http://www.acehardware.com
Advanced Micro Circuits	Advanced Micro Circuits Corp	http://www.advancedmicrocircuits.com
Akro-Mils	Myers Industries, Inc.	http://www.akro-mils.com
Alcoswitch	Division of Tyco Electronics Corporation	http://www.tycoelectronics.com/catalog/menu/en/18025
All Electronics	All Electronics Corporation	http://www.allelectronics.com
All Spectrum Electronics	All Spectrum Electronics	http://www.allspectrum.com
All-Battery.com	Tenergy Corporation	http://www.all-battery.com
Alpha potentiometers	Alpha Products Inc.	http://www.alphapotentiometers.net
ALPS pushbutton	ALPS Electric Co., Ltd.	http://www.alps.com
Amazon	Amazon.com, Inc.	http://www.amazon.com
Amprobe	Amprobe Test Tools	http://www.amprobe.com
Arduino	No corporate identity	http://www.arduino.cc
ArtCity	ArtCity	http://www.artcity.com
AutoZone	AutoZone, Inc.	http://www.autozone.com
Avago	Avago Technologies	http://www.avagotech.com
BASIC Stamp	Brand owned by Parallax, Inc.	http://www.parallax.com
BI Technologies	BI Technologies Corporation	http://www.bitechnologies.com
BK Precision	B&K Precision Corp.	http://www.bkprecision.com
Bussmann fuses	Cooper Bussman, Inc.	http://www.cooperbussmann.com
C&K switch	CoActive Technologies, Inc.	http://www.ck-components.com
Chicago lighting	CML Innovative Technologies	http://www.cml-it.com
CraftAmerica	Cardinal Enterprises	http://www.craftamerica.com

（续）

通 用 名	团体或公司名称	网 址
Darice	Darice Inc.	http://www.darice.com
DeWalt	DeWalt Industrial Tool Company	http://www.dewalt.com
Digi-Key	Digi-Key Corporation	http://www.digikey.com
Directed switches	Directed Electronics Inc.	http://www.directed.com
Doctronics	Doctronics Educational Publishing	http://www.doctronics.co.uk
eBay	eBay Inc.	http://www.ebay.com
Elenco	Elenco Electronics Inc.	http://www.elenco.com
Everlight	Everlight Electronic Co. Ltd.	http://www.everlight.com
Extech	Extech Instruments Corporation	http://www.extech.com
Fairchild	Fairchild Semiconductor Incorporated	http://www.fairchildsemi.com
FTM	FTM Incorporated	http://thefabricatorssource.com
Fujitsu	Fujitsu America, Inc.	http://www.fujitsu.com/us/
GB wire strippers	Gardner Bender Inc.	http://www.gardnerbender.com
Hobbylinc	Hobbylinc Hobbies	http://www.hobbylinc.com
Home Depot	Homer TLC, Inc.	http://www.homedepot.com
Ideal wire strippers	Ideal Industries Inc.	http://www.idealindustries.com
Jameco	Jameco Electronics	http://www.jameco.com
K&J Magnetics	K&J Magnetics Inc.	http://www.kjmagnetics.com
Kingbright	Kingbright Corporation	http://www.kingbrightusa.com
Kobiconn	未找到网址，请使用 mouser.com	
KVM Tools	KVM Tools Inc.	http://www.kvmtools.com
Lowe’s hardware	LF, LLC	http://www.lowes.com
Lumex	Lumex Inc.	http://www.lumex.com
McMaster-Carr	McMaster-Carr Supply Company	http://www.mcmaster.com
Megahobby	Megahobby.com	http://www.megahobby.com
Meter Superstore	Division of SRS Market Solutions Inc.	http://www.metersuperstore.com
Michaels craft stores	Michaels Stores, Inc.	http://www.michaelscrafts.com
Mill-Max	Mill-Max Manufacturing Corp.	http://www.mill-max.com
Mitutoyo	Mitutoyo America Corporation	http://www.mitutoyo.com
Motorola	Motorola, Inc.	http://www.motorola.com/us
Mouser electronics	Mouser Electronics, Inc.	http://www.mouser.com
Mueller alligator clip	Mueller Electric Company	http://www.muellerelectric.com

（续）

通 用 名	团体或公司名称	网　　址
Newark	Subsidiary of Premier Farnell plc	http://www.newark.com
NKK switches	Nihon Kaiheiki Industry Co. Ltd.	http://www.nkkswitches.com
NXP semiconductors	NXP Semiconductors	http://www.nxp.com
Omron	Omron Corporation	http://www.omron.com
On Semiconductor	Semiconductor Components Industries, LLC	http://www.onsemi.com
Optek	Subsidiary of TT Electronics plc	http://www.optekinc.com
Panasonic	Panasonic Electric Works Corporation	http://pewa.panasonic.com
PanaVise	Panavise Products, Inc.	http://www.panavise.com
Parallax	Parallax, Inc.	http://www.parallax.com
Pep Boys	Pep Boys-Manny, Moe and Jack	http://www.pepboys.com
Philips	Koninklijke Philips Electronics N.V.	http://www.usa.philips.com
PICAXE	Revolution Education Ltd.	http://www.rev-ed.co.uk
Piedmont Plastics	Piedmont Plastics, Inc.	http://www.piedmontplastics.com
Plano storages boxes	Plano Molding Company	http://www.planomolding.com
Pomona test equipment	Pomona Electronics Inc.	http://www.pomonaelectronics.com
RadioShack	RadioShack Corporation	http://www.radioshack.com
Sears	Sears Brands, LLC	http://www.sears.com
SparkFun Electronics	Sparkfun Electronics	http://www.sparkfun.com
Stanley tools	The Stanley Works	http://www.stanleytools.com
STMicroelectronics	STMicroelectronics Group	http://www.st.com
Texas Instruments	Texas Instruments Incorporated	http://www.ti.com
Tower Hobbies	Tower Hobbies	http://www.towerhobbies.com
Twin Industries	Twin Industries	http://www.twinind.com
Tyco	Tyco Electronics Corporation	http://www.tycoelectronics.com
Vaughan	Vaughan & Bushnell Mfg.	http://hammernet.com/vaughan/
Velleman keyboards	Velleman nv	http://www.velleman.eu
Vishay	Vishay Intertechnology Inc.	http://www.vishay.com
Wal-Mart	Wal-Mart Stores, Inc.	http://www.walmart.com
Weller	Division of Cooper Industries, LLC	http://www.cooperhandtools.com/brands/weller/
X-Acto	Division of Elmer's Products, Inc.	http://www.xacto.com
Xcelite	Division of Cooper Industries, LLC	http://www.cooperhandtools.com/brands/xcelite/
Xytronic	Xytronic Industries Ltd.	http://www.xytronic-usa.com

作译者简介

Charles Platt 自从在 1979 年得到一台 Ohio Scientific C4P 计算机以后，就对计算机产生了浓厚的兴趣。他先是编写了一段时间的软件并通过邮购出售软件，后来开始教授软件课程，从最初的 BASIC、MS-DOS 一直到最新的 Adobe Illustrator 和 Photoshop 等软件。在 20 世纪 80 年代他还编著了 5 本有关计算机方面的图书。

他早先还写过一些科幻小说，例如 *The Silicon Man*（最初由 Bantam 出版，后来由 Wired Books 出版）以及 *Protektor*（由 Avon Books 出版）。自从 1993 年加盟 *Wired* 杂志以后，就无暇再写科幻小说了，他后来成了 *Wired* 杂志的 3 位高级撰稿人之一。

从 *MAKE* 杂志第三期开始，Charles 就为其撰稿，目前是它的特约编辑。本书是他为 Make Books 写的第一本书。目前他正在亚利桑那州北部的荒野中自己的工作室里设计和搭建医疗设备的样机。

尹华杰　华中科技大学电气工程系博士（1994 年），美国伊利诺伊大学（UIUC）电磁计算中心访问学者（1999~2000 年），现任华南理工大学电气工程系教授。主要从事电机与电气传动控制、电力电子及工程电磁场数值计算等方向的科研与教学工作。

王　莲　毕业于西安理工大学水力水电专业（1999 年），现任中水珠江规划勘测设计有限公司工程师。

身边的电子学

36个有趣的电子小实验

想以轻松娱乐的方式，通过亲手实践来学习电子学的基础知识吗？打开本书，你就踏上了电子实验项目制作的全新旅程。书中一系列令人着迷的实验带你探索电子学的奇妙胜境。你将先搭建电路，然后再学习其中的理论！

由简到繁地制作确实能用的电子设备

你将从基础的电路实验项目入手，向更加复杂的项目迈进：从开关电路到集成电路，从简单的报警器到复杂的可编程微控制器。一步步的操作指南以及500余幅全彩照片和图片绝对给力，助你深入理解并灵活运用电子学的概念与技术。

Charles Platt 在15岁时就设计出他的第一个电子项目：一台电话应答机。现在是科幻小说作家（著有*The Silicon Man*）及*Wired*杂志高级撰稿人，还讲授计算机图形学等方面的课程，不过他的挚爱还是“身边的电子学”。目前是*Make*杂志特约编辑。

让我们来

- 通过破坏东西来发现：利用元件进行实验，并从失败中汲取经验。不破不立，对吧？
- 建立一个像样的小型电子实验场所：在家里开辟一块工作区，装备上必需的工具和元器件。
- 在电路中了解主要电子元器件及其功能。
- 制作侵入报警器、电子骰子、音频处理设备、反应测试仪及组合锁等。
- 制作机器人小车，让它感知环境，并灵敏地绕过障碍物。
- 对自己做的实验有更加清晰的认识。

O'Reilly的*Make*杂志的专家亲手证实过的技术

图灵网站：www.turingbook.com 热线：(010)51095186
反馈/投稿/推荐信箱：contact@turingbook.com
有奖勘误：debug@turingbook.com

分类建议 科普读物/电子

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

O'Reilly Media, Inc.授权人民邮电出版社出版

此简体中文版仅限于中国大陆（不包含中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区）销售发行
This Authorized Edition for sale only in the territory of People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan)

O'REILLY®
oreilly.com
Make:
makezine.com



ISBN 978-7-115-24602-8
定价：79.00元

欢迎加入

图灵社区

最前沿的IT类电子书发售平台

电子出版的时代已经来临。在许多出版界同行还在犹豫彷徨的时候，图灵社区已经采取实际行动拥抱这个出版业巨变。作为国内第一家发售电子图书的IT类出版商，图灵社区目前为读者提供两种DRM-free的阅读体验：在线阅读和PDF。

相比纸质书，电子书具有许多明显的优势。它不仅发布快，更新容易，而且尽可能采用了彩色图片（即使有的书纸质版是黑白印刷的）。读者还可以方便地进行搜索、剪贴、复制和打印。

图灵社区进一步把传统出版流程与电子书出版业务紧密结合，目前已实现作译者网上交稿、编辑网上审稿、按章发布的电子出版模式。这种新的出版模式，我们称之为“敏捷出版”，它可以让读者以较快的速度了解到国外最新技术图书的内容，弥补以往翻译版技术书“出版即过时”的缺憾。同时，敏捷出版使得作、译、编、读的交流更为方便，可以提前消灭书稿中的错误，最大程度地保证图书出版的质量。

最方便的开放出版平台

图灵社区向读者开放在线写作功能，协助你实现自出版和开源出版的梦想。利用“合集”功能，你就能联合二三好友共同创作一部技术参考书，以免费或收费的形式提供给读者。（收费形式须经过图灵社区立项评审。）这极大地降低了出版的门槛。只要你有写作的意愿，图灵社区就能帮助你实现这个梦想。成熟的书稿，有机会入选出版计划，同时出版纸质书。

图灵社区引进出版的外文图书，都将在立项后马上在社区公布。如果你有意翻译哪本图书，欢迎你来社区申请。只要你通过试译的考验，即可签约成为图灵的译者。当然，要想成功地完成一本书的翻译工作，是需要有坚强的毅力的。

最直接的读者交流平台

在图灵社区，你可以十分方便地写作文章、提交勘误、发表评论，以各种方式与作译者、编辑人员和其他读者进行交流互动。提交勘误还能够获赠社区银子。

你可以积极参与社区经常开展的访谈、审读、评选等多种活动，赢取积分和银子，积累个人声望。

ituring.com.cn